



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 1 de 310	

Índice de contenido


CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	12
1.1 IMPORTANCIA DE LA EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS	12
1.2 ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS	13
1.3 DESARROLLO DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES	15
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	16
1.4.1 Demanda de Recursos hídricos en la explotación hidrocarburífera	17
1.4.1.1 Cuantificación por etapa de proyecto	21
1.4.1.2 Regulaciones vigentes	22
1.5 BIBLIOGRAFÍA	24
CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE MERCADO	25
2.1 ÁREAS DE RESERVA EN LA CUENCA NEUQUINA	25
2.2 ACTIVIDAD CONVENCIONAL Y NO CONVENCIONAL EN LA PROVINCIA DEL NEUQUÉN	27
2.3 RESERVAS	30
2.4 MERCADO PROVEEDOR	31
2.5 MERCADO COMPETIDOR	32
2.6 MERCADO CONSUMIDOR	34
2.6.1 Servicio Principal	34
2.6.2 Subproductos	38
2.7 MERCADO DISTRIBUIDOR	39
2.8 ESTADÍSTICA DE LA DEMANDA	40
2.8.1 Proyección de consumo	41
2.8.2 Módulo de producción	44
2.9 ANÁLISIS FODA	45
2.10 BIBLIOGRAFÍA	45
CAPÍTULO 3: PROCESO	46
3.1 ANÁLISIS DEL AGUA DE RETORNO	46
3.1.1 Muestreo	46
3.1.1.1 Contenedores de las muestras	47
3.1.1.2 Volumen de muestra	47
3.1.1.3 Procedimiento del muestreo	47
3.1.2 Técnicas de análisis	49
3.1.2.1 Métodos utilizados y normas de referencia	50
3.1.2.1.1 pH	50
3.1.2.1.2 Densidad	51

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 2 de 310	

3.1.2.1.3	Conductividad	51
3.1.2.1.4	Crecimiento microbiano.....	52
3.1.2.1.5	Demanda bioquímica de oxígeno.....	53
3.1.2.1.6	Demanda química de oxígeno.....	53
3.1.2.1.7	Análisis Químico Cuantitativo	53
3.1.2.1.8	Análisis de hidrocarburos.....	59
3.1.2.1.9	Análisis de sólidos.....	60
3.1.2.1.10	Calidad de agua	61
3.1.3	Determinaciones in situ	64
3.1.4	Características del agua de retorno.....	66
3.2	ESPECIFICACIONES DEL AGUA PARA PREPARAR FLUIDOS DE FRACTURA.....	68
3.3	INCONVENIENTES ASOCIADOS AL AGUA DE INYECCIÓN.....	69
3.3.1	Corrosión	69
3.3.2	Formación de incrustaciones	69
3.3.3	Incompatibilidad de aguas	70
3.4	INCONVENIENTES ASOCIADOS A CADA PARÁMETRO A TRATAR 70	
3.4.1	Propiedades físicas	70
3.4.1.1	Temperatura	70
3.4.1.2	Sólidos suspendidos y disueltos totales (TSS).....	70
3.4.1.3	Turbidez	71
3.4.1.4	Contenido de petróleo	71
3.4.1.5	Resistividad	71
3.4.2	Propiedades químicas	71
3.4.2.1	pH.....	71
3.4.2.2	Oxígeno disuelto	72
3.4.2.3	Dióxido de Carbono disuelto y gaseoso.....	72
3.4.2.4	Sulfuro de hidrogeno disuelto	72
3.4.2.5	Aniones.....	73
3.4.2.5.1	Cloruros.....	73
3.4.2.5.2	Sulfatos.....	73
3.4.2.5.3	Carbonatos y Bicarbonatos.....	73
3.4.2.6	Cationes.....	73
3.4.2.6.1	Sodio y Potasio.....	73
3.4.2.6.2	Calcio	74
3.4.2.6.3	Magnesio	74
3.4.2.6.4	Hierro	74
3.4.2.6.5	Bario.....	74
3.4.3	Propiedades biológicas	74

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 3 de 310	

3.5	PARÁMETROS A REMOVER	75
3.6	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO	76
3.6.1	Etapa N°1: Remoción de hidrocarburos	76
3.6.2	Etapa N°2: Remoción de partículas sólidas	77
3.6.3	Etapa N°3: Remoción de Hierro, Calcio y Magnesio	77
3.6.4	Etapa N°4: Clarificación final	78
3.6.5	Etapa N°5: Secado de sales	78
3.6.6	Tratamientos químicos	79
3.6.6.1	Desenmulsionantes inversos	79
3.6.6.2	Coagulantes y floculantes.....	80
3.6.6.3	Biocidas.....	84
3.6.6.4	Inhibidores de Corrosión.....	85
3.6.6.5	Secuestrantes de Oxígeno.....	86
3.6.6.6	Inhibidores de Incrustación	88
3.6.6.7	Surfactantes	89
3.6.6.8	Secuestrantes de dióxido de carbono	90
3.6.6.9	Secuestrantes de Sulfuro de hidrogeno	90
3.7	BIBLIOGRAFÍA	91
CAPÍTULO 4: DIAGRAMA DE FLUJO.....		92
4.1	CODIFICACIÓN DE EQUIPOS.....	93
CAPÍTULO 5: BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....		94
5.1	SIMULACIÓN	94
5.2	BALANCE DE MASA GLOBAL	96
5.3	BALANCE DE MASA POR EQUIPO	97
5.3.1	Tanque Skimmer	97
5.3.2	Celda de flotación.....	97
5.3.3	Reactor.....	98
5.3.4	Centrífuga.....	98
5.3.5	Unidad de filtración	99
5.3.6	Secador	99
5.4	BALANCE DE ENERGÍA.....	100

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 4 de 310	

CAPÍTULO 6: DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN	101
6.1 IDENTIFICACIÓN FUNCIONAL DEL INSTRUMENTO.....	101
6.2 NUMERACIÓN DE LAZOS	102
6.3 IDENTIFICACIÓN DE LAZOS SEGÚN SU FUNCIÓN.....	102
6.4 REPRESENTACIÓN DE LÍNEAS	102
6.5 REPRESENTACIÓN DE INSTRUMENTOS	103
6.6 CUERPOS DE VÁLVULAS.....	103
6.7 ACTUADORES.....	103
6.8 DEFINICIONES DE LETRAS EMPLEADAS EN LA IDENTIFICACIÓN FUNCIONAL DE UN INSTRUMENTO	104
6.8.1 Casos de identificación.....	105
6.9 CODIFICACIÓN DE TUBERÍAS.....	105
6.10 DISEÑO DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN.....	106
6.11 BIBLIOGRAFÍA.....	107
CAPÍTULO 7: SEGURIDAD DE LA PLANTA.....	108
7.1 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	109
7.1.1 Plataforma de trabajo.....	110
7.1.2 Condiciones de extinción	110
7.1.2.1 Extintores de llama en la planta	111
7.1.2.1.1 Sistema de detección y extinción	111
7.1.2.1.2 Rociadores de agua.....	111
7.1.2.1.3 Cámaras de espuma.....	111
7.2 PUESTA A TIERRA	112
7.3 PARARRAYOS.....	112
7.4 PARADA DE PLANTA	113
7.4.1 Secuencia del sistema de emergencia.....	113
7.5 CRITERIOS DE SEGURIDAD Y RIESGOS ASOCIADOS A LA MANIPULACIÓN DE SUSTANCIAS.	113
7.6 BIBLIOGRAFÍA	117
CAPÍTULO 8: LAYOUT	118
8.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA	118
8.2 CONDICIONES METEOROLÓGICAS	119
8.2.1 Distribución de temperaturas.....	119
8.2.2 Temperaturas medias y precipitaciones.....	120
8.2.3 Distribución de precipitaciones	121
8.2.4 Velocidad de los vientos.....	122
8.2.5 Vientos predominantes	123
8.2.6 Datos climatológicos históricos.....	124
8.3 DISEÑO PRELIMINAR	125


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 5 de 310	

8.4	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO	125
8.4.1	Interrelaciones	128
8.4.2	Distanciamiento mínimo permitido	129
8.4.3	Dimensionamiento de tanques	131
8.5	DISEÑO DETALLADO.....	133
8.6	BIBLIOGRAFÍA	134

CAPÍTULO 9: INGENIERÍA DE DETALLE: TANQUE SKIMMER	135	
9.1	CARÁCTERÍSTICAS GENERALES.....	135
9.1.1	Partes de un tanque	135
9.1.2	Equipos de almacenamiento y códigos aplicables.....	136
9.1.2.1	Código A.P.I. 650. Instituto Americano del Petróleo.	136
9.1.3	Tipos de tanques	137
9.1.4	Selección de materiales	140
9.1.5	Soldado de materiales	141
9.1.6	Accesorios en los tanques.....	142
9.1.6.1	Conexión a tierra	142
9.1.6.2	Boquillas.....	142
9.1.6.2.1	Boquillas en las paredes del tanque.....	143
9.1.6.2.2	Boquillas en el techo	146
9.1.6.2.3	Entrada de hombre y accesorios.....	147
9.1.6.2.4	Venteos.....	151
9.1.6.2.5	Drenes y sumideros	152
9.1.6.3	Escaleras y plataformas	153
9.1.6.3.1	Requerimientos para plataformas y pasillos.....	153
9.1.6.3.2	Requerimientos para escaleras	153
9.2	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	154
9.2.1	Diseño y cálculo del cuerpo (casco) del tanque	155
9.2.1.1	Cálculo de espesores del cuerpo por el método del pie.....	157
9.2.2	Diseño y cálculo del fondo del tanque	158
9.2.3	Diseño y cálculo del techo del tanque	159
9.2.3.1	Diseño y cálculo de techos cónicos autosoportados.....	160
9.2.3.2	Diseño de techos tipo domo y sombrilla autosoportados.....	162
9.2.3.3	Diseño de techos cónicos soportados	163
9.2.4	Diseño y cálculo del perfil de coronamiento	164
9.2.5	Cálculo de pesos	164
9.2.5.1	Cuerpo del tanque.....	164
9.2.5.2	Fondo del tanque	165
9.2.5.3	Techo del tanque	165
9.2.5.4	Peso total del tanque.....	165

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 6 de 310	

9.2.6	Carga por sismo	166
9.2.6.1	Momento de volteo.....	166
9.2.6.1.1	Masa efectiva contenida en el tanque.....	167
9.2.6.1.2	Coeficientes de fuerzas laterales	168
9.2.6.2	Resistencia a la volcadura	169
9.2.6.3	Compresión del cuerpo.....	169
9.2.6.3.1	Tanques no anclados	169
9.2.6.3.2	Compresión máxima permisible del cuerpo.....	171
9.2.6.3.3	Tanques anclados	172
9.2.7	Presión de viento	172
9.2.7.1	Momento de volteo.....	173
9.3	DISEÑO DEL TANQUE SKIMMER	174
9.3.1	Velocidad de sedimentación	174
9.3.2	Área	176
9.3.3	Dimensiones	176
9.3.4	Velocidad ascensorial de crudo	177
9.3.5	Tiempo de residencia.....	177
9.3.6	Material de construcción	178
9.3.7	Espesores	178
9.3.7.1	Cuerpo del tanque.....	178
9.3.7.2	Fondo del tanque	179
9.3.7.3	Techo del tanque	180
9.3.8	Diseño de internos	180
9.3.9	Detalles Constructivos.....	181
9.3.9.1	Cálculo de conexiones.....	181
9.3.9.2	Protección Catódica.....	182
9.3.9.3	Protección anticorrosiva.....	182
9.4	BIBLIOGRAFÍA	183
CAPÍTULO 10: INGENIERÍA DE DETALLE: DISEÑO DE FILTROS		184
10.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES	184
10.1.1	Variables generales del proceso	186
10.1.1.1	Caracterización del lecho filtrante.....	186
10.1.1.2	Eficiencia del proceso	188
10.1.1.3	Velocidad de filtración	189
10.1.2	Filtración rápida.....	189
10.1.2.1	Funcionamiento de la filtración rápida.....	191
10.1.2.2	Curvas de presión	193
10.1.2.3	Tamaño efectivo del material en filtros rápidos monocapa	193

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 7 de 310	


10.1.2.4	Estructura	194
10.1.2.5	Tipología de filtros rápidos	195
10.1.2.6	Control del proceso	196
10.1.2.7	Lavado.....	198
10.1.2.7.1	Lavado solo con agua.....	198
10.1.2.7.2	Lavado con agua y aire.....	200
10.1.2.7.3	Canaletas de recogida de agua de lavado	201
10.1.2.7.4	Frecuencia de los lavados.....	202
10.1.2.7.5	Consumo de agua de lavado.....	202
10.1.2.7.6	Producción de fangos	202
10.1.3	Filtración lenta.....	203
10.1.3.1	Características	203
10.1.3.2	Funcionamiento.....	204
10.1.3.3	Estructura	204
10.1.3.4	Ventajas y limitaciones de la filtración lenta	205
10.2	DISEÑO	206
10.2.1	Consideraciones Generales de diseño.....	206
10.2.1.1	Internos.....	206
10.2.1.2	Lecho filtrante	206
10.2.2	Especificaciones de diseño	207
10.2.2.1	Tipo de filtro y mecanismo de filtración	207
10.2.2.2	Lecho filtrante	207
10.2.2.3	Flujo	208
10.2.2.4	Características constructivas	208
10.2.2.5	Dimensiones	208
10.2.2.6	Internos.....	209
10.2.2.7	Lavado.....	209
10.2.2.8	Detalles Constructivos.....	210
10.2.2.8.1	Protección Catódica.....	210
10.2.2.8.2	Instalación eléctrica y Puesta a tierra	210
10.2.2.8.3	Protección anticorrosiva.....	211
10.2.2.8.4	Conexiones	211
10.2.2.8.5	Escaleras y plataformas.....	211
10.3	BIBLIOGRAFÍA.....	211

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 8 de 310	

CAPÍTULO 11: INGENIERÍA BÁSICA	212
11.1 CELDA DE FLOTACIÓN.....	212
11.1.1 Descripción.....	212
11.1.2 Tecnologías de flotación.....	213
11.1.2.1 Sistemas de flotación por gas inducido/disperso (IGF)	214
11.1.2.1.1 Factores de rendimiento para sistemas IGF	214
11.1.2.2 Sistemas de flotación por gas disuelto (DGF).....	218
11.1.2.2.1 Factores de rendimiento de sistemas DGF.....	220
11.1.2.3 Comparación de las tecnologías de flotación IGF y DGF	222
11.1.3 Diseño.....	224
11.1.3.1 Consideraciones generales	224
11.1.3.2 Recipiente de flotación.....	224
11.1.3.3 Dimensiones	224
11.1.3.4 Internos.....	226
11.1.3.4.1 Conjunto de agitación.....	226
11.1.3.4.2 Baffles de separación.....	226
11.1.3.4.3 Paletas giratorias	226
11.1.3.5 Alimentación de gas	226
11.2 TANQUE REACTOR.....	227
11.2.1 Descripción.....	227
11.2.2 Ecuación general de balance molar	228
11.2.3 Clasificación de reactores químicos	229
11.2.3.1 Reactor homogéneo.....	229
11.2.3.2 Reactores intermitentes	229
11.2.3.3 Reactores de flujo continuo.....	231
11.2.3.3.1 Reactor de mezcla completa.....	231
11.2.3.3.2 Reactor de flujo pistón	233
11.2.3.4 Reactores heterogéneos	234
11.2.3.5 Reactores catalíticos	234
11.2.4 Consideraciones de diseño.....	235
11.2.4.1 Experiencia en el laboratorio.....	235
11.2.4.1.1 Objetivo.....	235
11.2.4.1.2 Determinación	235
11.2.4.1.3 Interferencias	236
11.2.4.1.4 Aparatos y materiales	236
11.2.4.1.5 Reactivos	236
11.2.4.1.6 Preparación de soluciones	237
11.2.4.1.7 Procedimiento.....	238
11.2.4.1.8 Resultados	241

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 9 de 310	

11.2.5	Diseño del reactor	244
11.2.5.1	Consideraciones generales	244
11.2.5.2	Dimensionamiento	244
11.2.5.3	Características constructivas	245
11.2.5.3.1	Material de construcción y revestimiento	245
11.2.5.3.2	Fondo del recipiente	245
11.2.5.3.3	Agitador interno	245
11.2.6	Consumo de reactivos.....	245
11.2.6.1	Carbonato de Sodio	245
11.2.6.2	Hidróxido de Sodio	246
11.3	SECADOR	247
11.3.1	Descripción	247
11.3.2	Clasificación	247
11.3.2.1	Clasificación según la disposición del material para secado.....	247
11.3.2.2	Clasificación según el tipo de contacto	247
11.3.2.3	Clasificación según el método de operación	248
11.3.3	Factores que intervienen en el proceso de secado	248
11.3.3.1	Temperatura del aire.....	248
11.3.3.2	Humedad relativa del aire	248
11.3.3.3	Velocidad del aire.....	248
11.3.4	Secador Rotatorio	249
11.3.4.1	Tipos de Secadores Rotatorios	250
11.3.4.2	Partes del Secador Rotatorio	250
11.4	BIBLIOGRAFÍA.....	252
CAPÍTULO 12: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....		254
12.1	TIPO DE ESTUDIO.....	254
12.2	PROYECTO.....	254
12.2.1	Recursos demandados. Tipos y cuantificación.....	254
12.2.2	Efluentes del proyecto	255
12.2.2.1	Emisiones	255
12.2.2.2	Vertidos	256
12.2.2.3	Residuos	256
12.3	IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS	256
12.3.1	Identificación de impactos.....	256
12.3.1.1	Árbol de acciones	256
12.3.1.2	Factores afectados	258
12.3.1.3	Identificación de impactos	259
12.3.2	Valoración de los impactos Operativos	262

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 10 de 310	

12.3.2.1	Cálculo de la Importancia	262
12.3.3	Impactos por Contingencias	267
12.3.3.1	Estimación de los riesgos	267
12.3.3.1.1	Amenaza (A)	267
12.3.3.1.2	Vulnerabilidad (V)	269
12.4	DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	271
12.4.1	Impactos Operativos	271
12.4.2	Impactos por Contingencias	273
12.5	PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL	275

CAPÍTULO 13: TRATAMIENTO DE EFLUENTES	276	
13.1	EFLUENTES	276
13.1.1	Identificación de Efluentes	276
13.1.2	Caracterización del Efluente.....	276
13.2	MÉTODOS DE TRATAMIENTO	277
13.2.1	Extracción con disolventes	277
13.2.2	Lavado	278
13.2.3	Desorción térmica.....	278
13.2.4	Incineración pirolítica.....	278
13.2.5	Biorremediación	278
13.2.6	Fitorremediación.....	279
13.3	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO.....	279
13.4	DESCRIPCIÓN DE LA BIORREMEDIACIÓN	280
13.4.1	Tecnologías para la biorremediación.....	280
13.4.2	Factores que intervienen en los procesos de biorremediación	281
13.4.2.1	Concentración de contaminante	281
13.4.2.2	Textura del suelo	281
13.4.2.3	Temperatura	282
13.4.2.4	pH.....	282
13.4.2.5	Humedad	282
13.4.2.6	Disponibilidad de nutrientes.....	282
13.4.2.7	Presencia de aceptor y donador de electrones.....	283
13.5	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	283
13.6	BIBLIOGRAFÍA.....	285

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 11 de 310	

CAPÍTULO 14: ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO	286
14.1 ESTUDIO DE VIABILIDAD	286
14.2 ESTUDIO DE RENTABILIDAD	288
14.2.1 Etapa de formulación del proyecto: Estimación de costos	289
14.2.1.1 Inversiones	289
14.2.1.1.1 Equipos	289
14.2.1.1.2 Obras físicas	290
14.2.1.2 Capital de trabajo	292
14.2.1.2.1 Costos fijos	293
14.2.1.2.2 Costos variables	294
14.2.1.3 Amortizaciones	295
14.2.1.4 Ingresos	296
14.2.2 Etapa de Preparación del proyecto: Flujo de caja	298
14.2.3 Etapa de Evaluación del proyecto	300
14.2.3.1 Valor actual neto	300
14.2.3.2 Tasa interna de retorno	301
14.2.3.3 Periodo de recuperación de la inversión	302
14.2.4 Punto de Equilibrio	303
14.2.5 Análisis de sensibilidad	304
14.3 BIBLIOGRAFÍA	309

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 12 de 310		

1 MARCO TEÓRICO

Antes de abocarnos por completo en el desarrollo del presente proyecto se dan aquí algunas definiciones y conceptos básicos, como así también ciertas explicaciones y justificaciones que es preciso tener en claro con el fin de lograr un mayor entendimiento del mismo.

1.1 IMPORTANCIA DE LA EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS

Primeramente, es interesante resaltar lo esencial que resultan los hidrocarburos para la vida cotidiana pues de ellos depende directamente la posibilidad de transportarse, cocinar o calefaccionarse. Además de ser la fuente principal de energía, derivados de la refinación de los hidrocarburos se encuentran en infinidad de objetos de uso cotidiano, como ser la mayoría de los plásticos e inclusive la vestimenta. Por otra parte, todas las industrias precisan del uso de la energía, las que a su vez generan empleo y bienes. Por lo tanto, se deduce claramente que la explotación de hidrocarburos trae aparejado indudablemente un crecimiento económico.

Sin embargo, el crecimiento demográfico y económico se traduce en una mayor demanda de energía tanto desde la industria, como desde la población en general, lo cual trae aparejado el lento pero paulatino agotamiento de los recursos hidrocarburíferos dado que se trata de recursos del tipo no renovable.

Hasta hace algunos años atrás, los hidrocarburos explotados eran sólo de tipo convencional, pero este crecimiento de la población obligó a la búsqueda de hidrocarburos desde otro tipo de reservorios dado que ya casi no se encuentran trampas convencionales de gran magnitud que permitan reponer reservas y que no existe ni en el corto ni en el mediano plazo, ninguna otra fuente de energía capaz de reemplazar los hidrocarburos.

Afortunadamente, en los últimos tiempos apareció la posibilidad de explotar los recursos de reservorios “no convencionales”. Tal y como se explicará más adelante, estos hidrocarburos de reservorios “no convencionales” difieren en los de tipo “convencional” en el tipo de roca en la que se encuentran albergados, lo cual implica algunas diferencias respecto de las técnicas tradicionales de extracción (por ello se denominan “no convencionales”), se requiere de una tecnología más compleja y altamente mejorada respecto de la tradicional, y con ello de mayores inversiones iniciales.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 13 de 310		

1.2 ORIGEN DE LOS HIDROCARBUROS

Existen numerosas teorías desarrolladas acerca del origen de los hidrocarburos. Sin embargo, la teoría comúnmente aceptada conocida como “orgánica” considera que el petróleo y el gas se generaron en ambientes acuáticos, a partir de material orgánico proveniente de microorganismos. Brevemente, esta teoría explica que a medida que los microorganismos morían, se acumulaban en el lecho de estuarios, mares y lagos, mezclados con otros materiales, una capa sobre otra. De esta manera los sedimentos inferiores se iban hundiendo por el peso de nuevos sedimentos acumulados sobre ellos. Estos restos orgánicos, entonces, quedaron sometidos a condiciones de elevada presión y temperatura, en un ambiente de ausencia de oxígeno. Este proceso luego de miles a millones de años, provocó que la materia orgánica se descomponga, formando primeramente un material parafinoso denominado *querógeno* para luego transformarse en compuestos líquidos y gaseosos que hoy conocemos como petróleo y gas respectivamente. A este proceso se lo conoce como *catagénesis*. La roca en la que se produjo dicho proceso de sedimentación y transformación de la materia orgánica se denomina *roca generadora*, y suele ubicarse hoy, a grandes profundidades, incluso superiores a los 3.000 metros. Está compuesta, en su mayor parte, por arcillas con un pequeño contenido de arenas y material carbonático. Una de las características principales de esta roca generadora es su relativamente baja porosidad y escasa permeabilidad. Es decir que, en la roca generadora, el petróleo y el gas se encuentran encerrados u ocluidos en millones de poros microscópicos, sin contacto entre ellos. Por este motivo, los hidrocarburos no pueden desplazarse por el interior de la formación ni escaparse de ella.

Sin embargo, los movimientos de la corteza terrestre sumados al propio proceso de generación de los hidrocarburos, ocasionaron la ruptura de la roca generadora, provocando de esta manera innumerables fisuras. A través de estas pequeñas fisuras, parte de los hidrocarburos migraron hacia otras formaciones, de distintas características geológicas, normalmente acompañados por agua presente en distintas formaciones. No obstante, durante el proceso de migración algunos hidrocarburos se toparon con una estructura sumamente impermeable, denominada *trampa*, que les impidió continuar con su desplazamiento. Las rocas impermeables que envuelven las trampas se denominan *sellos*. Una vez retenidos por las trampas, los fluidos a través del tiempo se ubicaron según su densidad. Por eso, bajo la tierra, en la parte superior se ubica un casquete formado por gas, en equilibrio con el petróleo líquido en el centro, y acompañado por agua, que se acumula en la parte inferior. La acumulación de gas y petróleo atrapados

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 14 de 310	

dentro de los minúsculos poros de estas formaciones permeables constituye un depósito de hidrocarburos, comúnmente conocido como *yacimiento*. Aquellos yacimientos formados por rocas con alta porosidad y permeabilidad, son los denominados *yacimientos convencionales*.

Empero, no todos los hidrocarburos lograron abandonar la roca generadora y migrar hasta llegar a las trampas para formar parte de yacimientos. Gran parte del gas y del petróleo quedó allí, en la roca que los generó, sin migrar jamás o bien quedaron atrapados en rocas de baja permeabilidad y porosidad (aunque no tan bajas como las de las rocas generadoras). Las llamadas *arenas compactas* (en inglés, *tight sands*) son acumulaciones, tanto las rocas generadoras como las arenas compactas, que no están restringidas geográficamente a una trampa, sino que son mucho más extensas y se las denomina *acumulaciones continuas*.

A los reservorios de arenas compactas y a los ubicados en rocas generadoras, entre otros, cuya porosidad, permeabilidad, mecanismo de entrapamiento u otras características difieren respecto de los reservorios tradicionales, se los llamó *reservorios no convencionales*.

Dado la amplia variedad de reservorios no convencionales que se pueden encontrar, los mismos se dividen en dos categorías: tipo “*shale*” o “*tight*”.

- Los reservorios de tipo “*shale*” son aquellos en los cuales el gas y petróleo se encuentra en rocas generadoras, esquistos y lutitas. Estos esquistos y lutitas han sido la roca generadora de los sistemas petroleros convencionales. Es una roca sedimentaria de grano fino, con variable cantidad de carbonatos, sílica o cuarzo y arcillas, más un alto contenido de materia orgánica.
- Los reservorios de tipo “*tight*” se refiere a aquellos compactos. Se trata de una definición arbitraria que no depende de la conformación y composición de la roca, sino de su permeabilidad, que es tan baja, que no permite el flujo del gas hacia el pozo, aunque no tanto como la de los esquistos y lutitas.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 15 de 310		

1.3 DESARROLLO DE YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES

Ya se ha adelantado que la exploración y el desarrollo de los reservorios no convencionales requieren la aplicación de métodos y tecnologías nuevas y costosas. Sin embargo, estos contienen, por su gran extensión, volúmenes de hidrocarburos sustancialmente mayores a los contenidos en los reservorios convencionales. Este hecho, sumado a que los reservorios convencionales ya están siendo en su mayoría explotados, obligó a centrar los esfuerzos en buscar la manera de explotar los hidrocarburos de las arenas compactas de manera tanto técnica, como económicamente viable.

La premisa básica consiste en provocar fisuras de manera artificial en estas rocas de baja permeabilidad, que naturalmente no fue posible. La tecnología ampliamente desarrollada consiste en generar estas fisuras en la formación utilizando un fluido a gran presión. Dado que el fluido que más nos abunda es el agua, se decidió aplicar un proceso de inyección de agua y arena, esta última actuando como soporte de las fisuras abiertas. A este método para mejorar la permeabilidad de las arenas compactas se lo denomina *estimulación hidráulica*, aunque es habitual encontrarlo con el nombre de *fractura hidráulica* o en inglés, *fracking*.

En los Estados Unidos, y también en Canadá, el desarrollo comercial de los tight gas sands comenzó en la década del 80. Desde esa época, las mejoras tecnológicas y la optimización de las actividades de perforación y terminación de pozos han permitido, de manera progresiva, disminuir costos y hacer factible la puesta en producción de un gran número de campos. En la Argentina, en la cuenca neuquina, se experimenta una situación similar. El término shale cobró notoriedad cuando el Departamento de Energía de los Estados Unidos difundió un informe con los resultados de una evaluación realizada sobre las rocas generadoras de 48 cuencas en 32 países en el cual se determinó que en Argentina los recursos hidrocarburíferos técnicamente recuperables estimados se concentraban en seis rocas generadoras de cuatro cuencas sedimentarias:

- Fm Vaca Muerta (Cuenca Neuquina) 240 TCF
- Fm Los Molles (Cuenca Neuquina) 167 TCF
- Fm Palermo Aike (Cuenca Austral) 108 TCF
- Fm Aguada Bandera (Cuenca Golfo San Jorge) 50 TCF
- Fm Pozo D-129 (Cuenca Golfo San Jorge) 45 TCF
- Fm San Alfredo (Cuenca Chaco-Paranaense) 164 TCF

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 16 de 310		

Según el citado informe, esta evaluación posiciona al país en el tercer lugar del ranking en recursos shale, luego de China y de los Estados Unidos.

De las rocas evaluadas se destaca la formación Vaca Muerta, en la cuenca neuquina, que presenta características geoquímicas y geológicas que la equiparan con los mejores reservorios shale actualmente en producción en los Estados Unidos.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En los últimos años, a medida que la producción de hidrocarburos de reservorios no convencionales se fue intensificando, comenzaron a surgir ciertos interrogantes sobre posibles impactos ambientales negativos. El principal aspecto sobre el cual se centra esta preocupación es en el uso del agua para la estimulación hidráulica, tanto por el gran caudal que la misma requiere como por la eventual contaminación debido a sustancias químicas que se incorporan en el agua para hacer más eficiente la estimulación del yacimiento. También suelen plantearse dudas sobre la disposición final del agua, y la posibilidad de que puedan ser contaminados los acuíferos superficiales de agua dulce.

Es por las inquietudes nombradas que básicamente surge el presente proyecto, el cual tiene por objeto el desarrollo de una planta de tratamiento de agua proveniente del proceso de fractura hidráulica. Este agua se denomina agua de retorno o flowback y como se dijo, se caracteriza por contener altas concentraciones de sales disueltas, sólidos suspendidos y otros componentes como arenas, metales pesados, hidrocarburos y químicos. Estos diversos compuestos pueden haberse agregado durante el proceso de fractura o bien es posible que se hayan incorporado al agua debido al contacto con la tierra o rocas de la formación.

Las bases de este proyecto se sustentan en el Decreto 1483 de la provincia de Neuquén, donde están fijados estrictos requisitos para el manejo del agua destinada a la extracción no convencional. En él, se expresa que sólo se puede utilizar agua para estimulación hidráulica de hidrocarburos de reservorios no convencionales, de cursos superficiales (ríos y lagos) y está prohibido el abastecimiento mediante acuíferos subterráneos de agua dulce y, se exige además el rehúso del agua en nuevas estimulaciones, o se permite confinarse en pozos sumideros a cientos o miles de metros de profundidad, en formaciones estériles. Se trata de formaciones que son elegidas, entre otras características, por no tener contacto alguno con reservorios superficiales de agua dulce, en pozos cuyas normas de construcción siguen las mismas estrictas regulaciones que los pozos de producción.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 17 de 310		

Asimismo, dado el alto crecimiento de la actividad no convencional en la zona en los últimos años y considerando que se espera un despliegue aún mayor, creemos que el proyecto contribuye a reducir el déficit energético en la provincia y en la Argentina, ya que reutilizando el agua de retorno se genera un ciclo del agua sustentable, reduciendo la necesidad del uso de agua dulce y evitando así la desaparición de este recurso del ciclo hidrológico al enviarse a un pozo sumidero.

1.4.1 Demanda de Recursos hídricos en la explotación hidrocarburífera

El agua es un insumo indispensable en todo proyecto de explotación hidrocarburífera dado que es utilizada en diversas etapas de dicho proyecto y con requerimientos variables. Sin embargo, ya se adelantó que el principal foco se centra en el uso del agua durante la etapa de estimulación hidráulica, dado el volumen que la misma requiere. Es por ello que a continuación se identificarán y describirán las necesidades de agua por etapa de proyecto de explotación de hidrocarburos no convencionales, tanto en lo relativo a cantidad como a calidad.

➤ Etapa 1: Obras civiles

Durante la etapa inicial de todo proyecto de explotación de hidrocarburos (convencionales o no), son necesarias ciertas obras civiles. Básicamente se requiere la construcción de caminos y locaciones donde se perforará el/los pozo(s). Eventualmente también resulta necesario la construcción de baterías y plantas de tratamiento donde se recibirá y acondicionará la producción.

Estas obras suponen, en primera instancia, nivelar y compactar el terreno. La compactación se realiza con el objeto de aumentar la resistencia del terreno, a fin de que soporte de modo seguro los equipos bajo las condiciones de esfuerzo a las que se lo someterán. En este sentido, la compactación es un proceso mecánico que requiere cierto suministro de agua.

➤ Etapa 2: Perforación

Por otra parte, durante la perforación propiamente dicha se suele utilizar agua para la elaboración de los fluidos de perforación (o “lodos”) y de cementos. El agua constituye la base sobre la que se agregan sustancias para lograr los objetivos específicos de estos fluidos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 18 de 310	

Fluidos de perforación

En primer lugar, los fluidos de perforación son fundamentales para controlar las presiones de formación, circular hacia la superficie los recortes del terreno que genera el trépano, sellar las formaciones permeables y enfriar y lubricar tanto al trépano como a la columna de perforación. También permiten mantener los recortes en suspensión ante la interrupción del bombeo, conservar la estabilidad del pozo y transmitir potencia hidráulica a los motores de fondo y al trépano. Estas funciones son satisfechas por el control de características físicas del fluido, como la viscosidad, la densidad y la tixotropía.

Si bien existen fluidos de perforación líquidos, gaseosos y mezcla de ambos y que dentro de los fluidos líquidos existen lodos base petróleo, se considera que cerca del 85% de los lodos utilizados son de base agua. Las características buscadas se obtienen mediante el agregado de sustancias específicas.

Particularmente, la viscosidad y tixotropía suelen ser controladas por arcillas como la bentonita o polímeros de distinto tipo; y la densidad, por sólidos no reactivos de alto peso específico como la baritina (sulfato de bario, $BaSO_4$). Asimismo, es posible el agregado de aditivos minoritarios que modifiquen características como el filtrado, la calidad del revoque y la lubricidad.

Si bien los lodos son tratados en superficie y reutilizados continuamente durante la perforación, existe cierto consumo de agua por filtrado hacia las formaciones, pérdidas con los recortes de formación y en procesos de circulación, así como también por evaporación en los tanques de preparado.

Cementos

Por su parte, los cementos son necesarios para proveer aislación hidráulica entre las formaciones atravesadas, proveer sustentación a las cañerías, protegerlas de esfuerzos de formaciones tectónicamente activas y prevenir su corrosión.

Los mismos constituyen mezclas de agua, cemento y aditivos. Entre los componentes mayoritarios del cemento se encuentran el silicato tricálcico (alita, $3CaO.SiO_2$), silicato dicálcico (belita, $2CaO.SiO_2$), aluminato tricálcico (celita, $3CaO.Al_2O_3$) y ferroaluminato tetracálcico ($4CaO.Al_2F_2O_3$), que le proveen distintas características de tiempo de fragüe, resistencia y liberación del calor. Además, se utilizan aditivos para controlar propiedades físicas de la lechada como tiempos de bombeo, densidad, control de filtrado, reología, desarrollo de resistencia compresiva, expansión, ductilidad, control de migración de gas, etc.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 19 de 310	

➤ Etapa 3: Estimulación hidráulica

Si bien la fractura es una técnica de estimulación hidráulica extendida en la explotación de hidrocarburos convencionales, es una etapa fundamental en la de no convencionales. Tal y como se dijo, consiste en inyectar un fluido de fractura a presión a fin de generar fisuras en la formación y aumentar su permeabilidad.

Estos fluidos de fractura están constituidos principalmente por una mezcla de agua, agente sostén y algunos productos químicos. El agente sostén puede ser arena natural o material cerámico de granulometría controlada, en suspensión en concentraciones de entre 6 y 10%P/V. Los productos químicos por su parte, constituyen entre el 1 y el 2% de la mezcla total y pueden consistir en sustancias gelificantes, reductores de fricción, ruptores de geles, bactericidas, estabilizadores de pH, surfactantes y estabilizadores de arcillas, entre otros.

A continuación, se presentan aditivos habituales que se utilizan en los fluidos de fractura. La cantidad de productos utilizados varía en cada caso.



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 20 de 310		

Tabla 1.1. Aditivos habituales en fluidos de fractura.

Función	Aditivos habituales	Comentarios
Acidificante	Ácido clorhídrico (HCl)	No es un aditivo en sí, sino que se inyecta al inicio de la operación para facilitar la fractura posterior. Este ácido se gasta y no retorna vivo a superficie.
Ruptor de fricción	Poliacrilamida Perborato de sodio tetrahidratado	Reduce la fricción entre el fluido de fractura y el tubing.
Surfactante	Isopropanol Metanol Etanol Extracto cítrico Poli (oxy-1,2-ethaneduyl), α (4-nlnylphenyl), Ω hydroxyl ramificado Naftaleno 1,2,4 trimetil benceno Nafta de petróleo aromático pesado	Modifica la tensión interfasial a fin de prevenir la formación de emulsiones.
Gelificante	Goma guar Gasoil	Provee la viscosidad necesaria para transportar el agente sostén.
Inhibidor de corrosión	Metanol Aldehído Isopropanol Cloruro de 1-bensilisoquinolinio	-
Biocida	Glutaraldehído	Amina cuaternaria que controla el crecimiento de microbios que destruyen el gelificado del fluido.
Inhibidor de incrustaciones	Polímeros	-
Inhibidor de arcillas	Cloruro de potasio Cloruro hidroxí trimetil amonio	-
Buffer	Acetato de amonio Ácido acético	-
Crosslinker	Borato Gasoil Octaborato de sodio, tetrahidrato	Mejoran la viscosidad.
Ruptor	Persulfato de sodio	-
Activador de ruptor	Quelato de cobre EDTA	-

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 21 de 310	

1.4.1.1 Cuantificación por etapa de proyecto

Las necesidades de agua de cada proyecto varían según sus dimensiones: cantidad de pozos a perforar, extensión y distanciamiento entre ellos, cantidad de etapas de fractura previstas, requerimientos de infraestructura adicional de recepción de producción, etc. Sin embargo, en términos generales se estima que la etapa de fractura constituye el 94% del consumo total de agua, seguido en mucha menor medida, por las obras civiles y por último las etapas de perforación y terminación, tal como se encuentra representado en el siguiente gráfico.

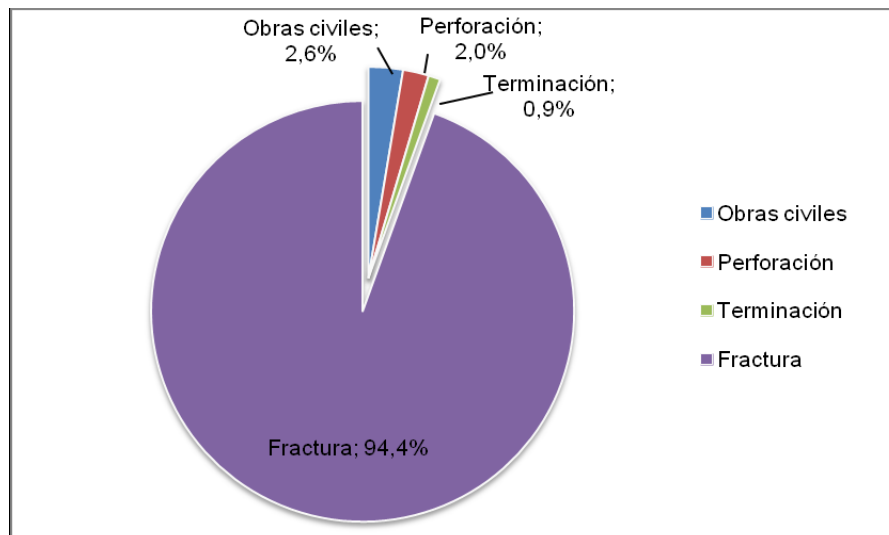


Gráfico 1.1. Porcentaje del consumo de agua por etapa de proyecto.

Si bien los volúmenes consumidos en cada proyecto son altamente variables, es evidente que la introducción de fracturas hidráulicas en los desarrollos no convencionales constituye un incremento significativo respecto de las demandas hídricas de proyectos hidrocarburíferos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 22 de 310		

1.4.1.2 Regulaciones vigentes

A continuación, se enuncian y comentan brevemente normas ambientales que regulan la actividad hidrocarburífera no convencional en la provincia de Neuquén, haciendo especial hincapié en los aspectos hídricos que consideran.

El Decreto N° 1483/12 aprueba las “Normas y procedimientos para exploración y explotación de reservorios no convencionales”. El mismo tiene como objeto prevenir, mitigar y minimizar los impactos ambientales que se puedan producir a partir de las perforaciones no convencionales.

Esta normativa establece la exigencia de tramitar la Licencia Ambiental previo a la ejecución de todo proyecto de exploración y explotación. Para ello se deben presentar informes que contengan como mínimo una descripción del sistema de tratamiento de flowback, una declaración jurada de la composición de los fluidos de fractura y la autorización de uso de agua y vertidos de efluentes otorgados por la autoridad hídrica provincial.

Por su parte, prohíbe el uso de aguas subterráneas con aptitud para abastecer poblaciones y regar, para la perforación y terminación de pozos no convencionales. Si bien no especifica las condiciones que definen la aptitud de un acuífero para abastecimiento de poblaciones y/o irrigación, la EPA define como fuente de agua subterránea para el abastecimiento de poblaciones a aquel acuífero o porción de acuífero que:

- a) es utilizado en la provisión del sistema de agua pública o contiene suficiente volumen como para abastecerlo, y
- b) que efectivamente se utiliza como fuente de agua de consumo humano o presenta una concentración de sólidos disueltos totales menores a 10.000 mg/l.

Por su parte, exige el tratamiento de la totalidad del flowback a fin de satisfacer los parámetros de vertido establecidos por el Decreto N° 790/99 reglamentario de la Ley Provincial N° 899 (ver Tabla 8) y por el Decreto N° 831/93, reglamentario de la Ley Nacional N° 24.051, para las siguientes alternativas de disposición. Se excluye expresamente la posibilidad de vertido en cuerpos de agua superficial.

- a) Reúso en la industria hidrocarburífera;
- b) Reúso en riego asociado a proyectos productivos o recomposición ambiental del área intervenida;
- c) Disposición final en pozos sumideros


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 23 de 310	

Tabla 1.2. Parámetros admisibles de vuelco en la provincia de Neuquén. Decreto N° 790/99.

Parámetro	Unidad	Valores de vuelco regulados en el Decreto N° 790/99
Temperatura	°C	45
pH	UpH	6,5 - 9,5
Sólidos sedimentables en 2 hs	ml/l	1,0
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/l	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	250
Grasas polares hidrocarburos y aceites minerales	mg/l	50
Detergentes – SAAM	mg/l	1,0
Fósforo total	mg/l	1,0
Amonio	mg/l	3,0
Nitrógeno Total	mg/l	10
Fenoles	mg/l	0,5
Plaguicidas organoclorados	mg/l	0,05
Cianuro	mg/l	0,1
Arsénico	mg/l	0,5
Cadmio	mg/l	0,1
Cromo total	mg/l	0,5
Hierro	mg/l	2,0
Manganeso	mg/l	0,5
Cobre	mg/l	0,1
Mercurio	mg/l	0,005
Níquel	mg/l	2,0
Plomo	mg/l	0,005
Cinc	mg/l	2,0
Coliformes totales	NMP/100 ml	5000
Hidrocarburos totales	mg/l	30

Como se observa en la tabla anterior, los parámetros de vuelco regulados por la legislación neuquina no hacen mayores consideraciones respecto del contenido salino total del efluente. Se centra mayormente en las concentraciones admisibles de sustancias consideradas peligrosas como metales pesados, grasas, aceites, hidrocarburos y detergentes.

Cabe indicar que la Resolución N° 831/93 en su Anexo II presenta niveles guía para diversos usos del agua, que consideran de una amplia cantidad de parámetros. En particular se definen niveles guía para la calidad de agua para fuentes de bebida humana


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 24 de 310		

con tratamiento convencional (Tabla 1), para protección de la vida acuática en agua superficial dulce (Tabla 2), salada (Tabla 3) y salobre (Tabla 4), para irrigación (Tabla 5), para bebida de ganado (Tabla 6), para recreación (Tabla 7) y para pesca industrial (Tabla 8). Si bien la calidad de “niveles guía” implicaría que no son exigibles, la regulación neuquina sí los establece como parámetros a respetar. De modo similar a lo observado para el Decreto N° 790/99, la mayoría de los parámetros especificados en esta regulación también se corresponden con componentes peligrosos.

Por otra parte, el Decreto N° 1483/12 exige el diseño de locaciones de pozos múltiples y prioriza aquellos sitios alejados de superficiarios. Asimismo, exige impermeabilizar las piletas que se utilicen para almacenar el agua a utilizar en las operaciones y prohíbe el almacenamiento a cielo abierto del flowback. También establece la obligación de presentar análisis fisicoquímicos de este efluente.

1.5 BIBLIOGRAFÍA

- Decreto 1483/12 (2012). *Normas y procedimientos para exploración y explotación de reservorios no convencionales*. Provincia de Neuquén.
- Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (2017). *Estadísticas de Petróleo y Gas*. Buenos Aires.
- Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (2013). *Gestión del Agua en la exploración y explotación de Reservorios No Convencionales en el Área de influencia de la Cuenca Neuquina*. Buenos Aires.
- Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (2009). *El abecé del Petróleo y del Gas*. Buenos Aires.
- Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (2012). *El abecé de los hidrocarburos en Reservorios No Convencionales*. Buenos Aires.
- Ponce, J., Montagna, O. y Carmona, N. (2015). *Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros*. Neuquén.
- Prieto, D., Puente, S. (2016). *Gestión hídrica en explotaciones hidrocarburíferas no convencionales*. Instituto Tecnológico Buenos Aires.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 25 de 310		

2 ESTUDIO DE MERCADO

El estudio de mercado constituye una fuente de información de suma importancia dado que a partir de él es posible estimar la demanda y de esta manera proyectar los costos y definir precios, así como también evaluar la capacidad de producción de la planta e identificar los principales proveedores, distribuidores y consumidores.

Para realizar un correcto estudio de mercado, deben considerarse cuatro tipos del mismo:

- Mercado proveedor.
- Mercado competidor.
- Mercado distribuidor.
- Mercado consumidor.


Cada uno de ellos proporciona una gran cantidad de información útil para evaluar el proyecto, a la vez que su omisión puede inducir a graves errores en la decisión de su aprobación o rechazo.

Sin embargo, previo al estudio de cada uno de estos mercados, se realiza un análisis y evaluación del crecimiento de la actividad no convencional en la Provincia, a fines de comprender y esquematizar la justificación de la implementación del proyecto ya explicada con anterioridad.

2.1 ÁREAS DE RESERVA EN LA CUENCA NEUQUINA

La cuenca Neuquina registra una columna sedimentaria de más de 6000 metros de espesor que incluye un gran número de formaciones con características geoquímicas y geológicas muy variadas. Dentro de dicha cuenca se encuentran yacimientos tanto del tipo convencional, como no convencional, los cuales comúnmente denominados campos o unidades mínimas de reserva (UMR), se encuentran agrupados formando distintas áreas de reserva. Cada una de estas áreas es asignada por concesión a distintas empresas operadoras, que son las encargadas de la exploración y explotación de los hidrocarburos.

Se presenta a continuación un mapa de la provincia de Neuquén, en el que se detallan las distintas áreas hidrocarburíferas en las que se encuentra dividida la provincia junto con la empresa operadora de cada área. Por otra parte, se informa además acerca de las principales áreas de producción tanto de petróleo como de gas, como así también las empresas con mayor participación en dicha producción.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 26 de 310	

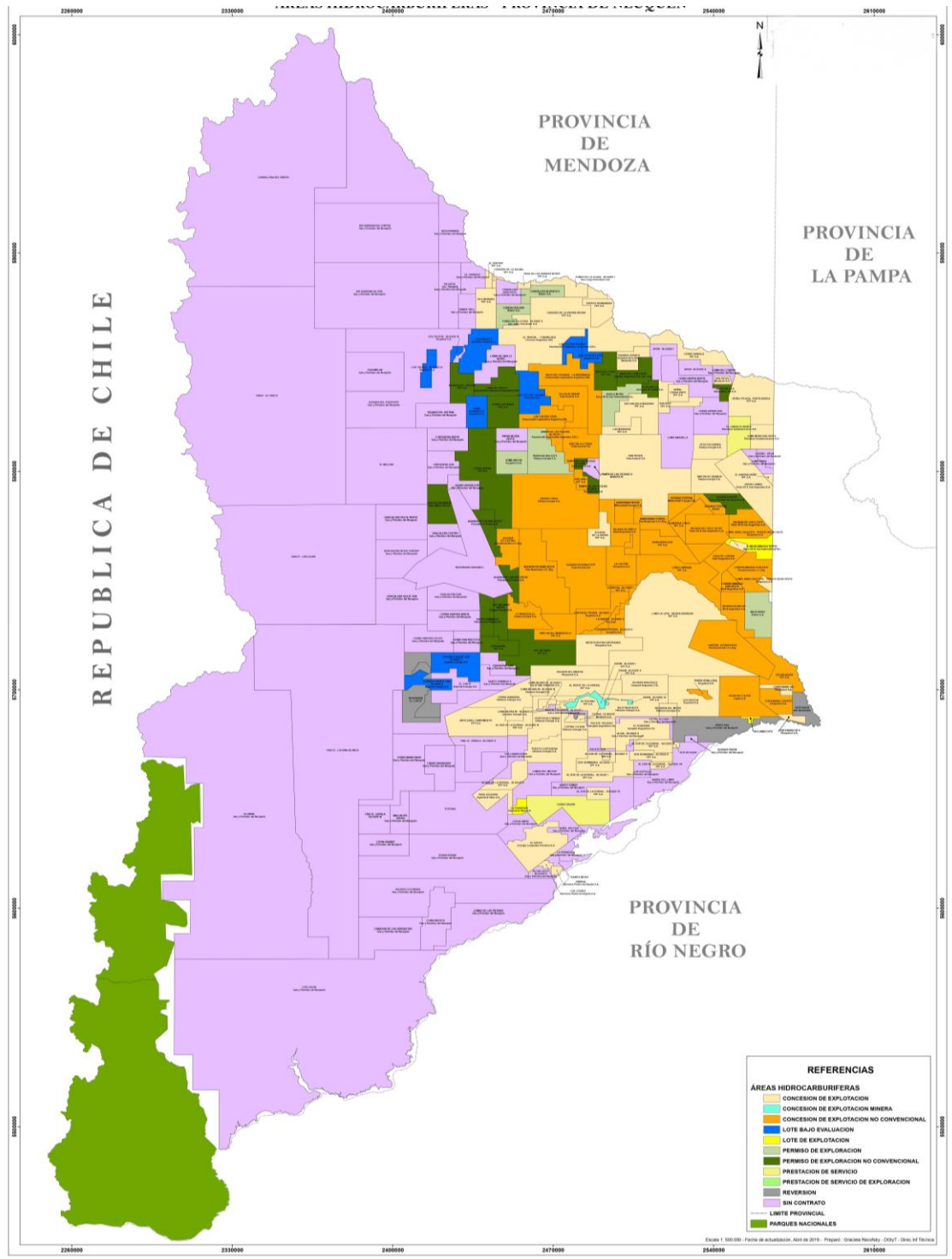


Figura 2.1. Mapa de áreas Hidrocarburíferas -Provincia de Neuquén.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 27 de 310	

2.2 ACTIVIDAD CONVENCIONAL Y NO CONVENCIONAL EN LA PROVINCIA DEL NEUQUÉN

A fines de esquematizar lo ya explicado en el capítulo anterior, sobre el crecimiento en el desarrollo de los reservorios no convencionales, se encuentran debajo los *Gráficos 2.1* y *2.2*, en los cuales se muestra el porcentaje de la producción de Petróleo y Gas respectivamente, correspondientes a Yacimientos Convencionales y No Convencionales de la provincia de Neuquén, en los últimos tres años.

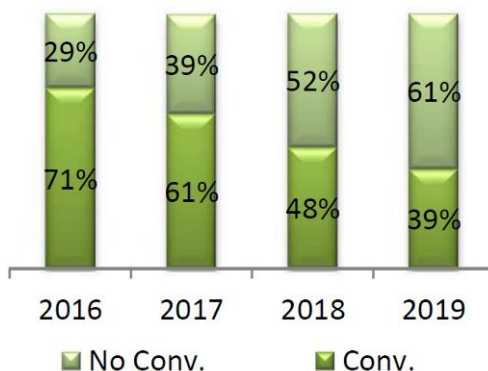


Gráfico 2.1. Porcentaje de la producción de Petróleo correspondiente a Yacimientos Convencionales y No Convencionales. *Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.*

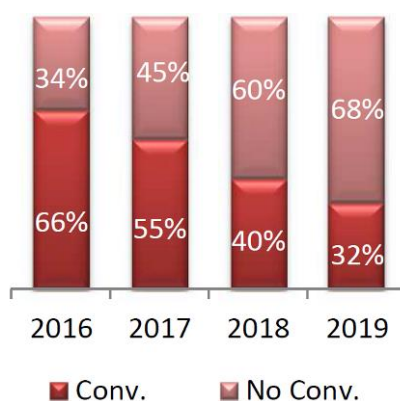


Gráfico 2.2. Porcentaje de la producción de Gas correspondiente a Yacimientos Convencionales y No Convencionales. *Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.*

En ambas gráficas se observa el continuo aumento de la producción no convencional. El análisis comienza en el año 2016 donde la mayoría de la producción aún correspondía a los yacimientos convencionales, pero se ve como rápidamente este porcentaje se ha revertido en la actualidad. Este cambio de tendencia ya se ha explicado con

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 28 de 310	

anterioridad, y se lo atribuye a dos razones principales. Primeramente, se debe a que los reservorios convencionales fueron los primeros en ser explotados y es por ello que ya no se encuentran reservorios de este tipo de gran magnitud. Por otra parte, los reservorios no convencionales contienen volúmenes de hidrocarburos sustancialmente mayores a los contenidos en los reservorios convencionales. A esto se le suma el avance de nuevas tecnologías, las cuales hacen que la extracción de hidrocarburos no convencionales sea tanto técnica, como económicamente posible.

Sumado a los datos de producción de petróleo y de gas correspondientes a yacimientos convencionales y no convencionales, también se provee de información acerca de los pozos perforados en los últimos tiempos pertenecientes a los distintos tipos de reservorio.

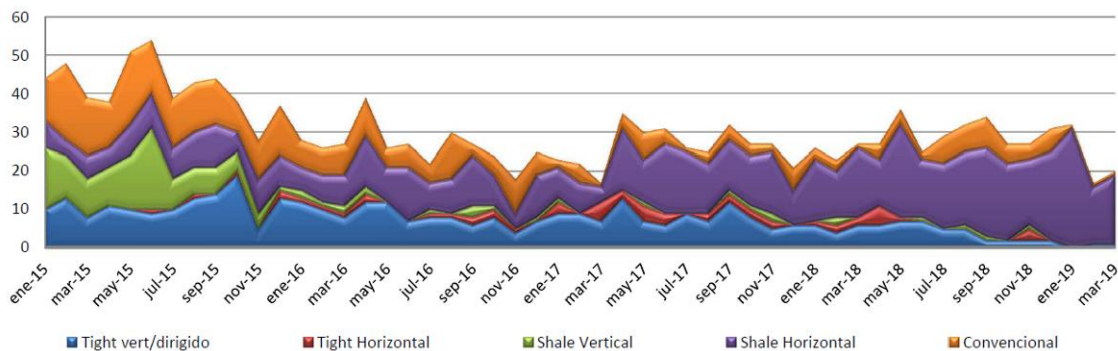


Gráfico 2.3. Evolución de la perforación de pozos por tipo de reservorio. Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.

Se afirma aquí, lo expresado con anterioridad, que los pozos incorporados en los últimos años se encuentran en su mayoría dentro de los reservorios de tipo no convencional.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.jcerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 29 de 310	

En los gráficos siguientes (*Gráficos 2.4, 2.5 y 2.6*) se puede observar la evolución de la producción tanto de petróleo como de gas No Convencional.

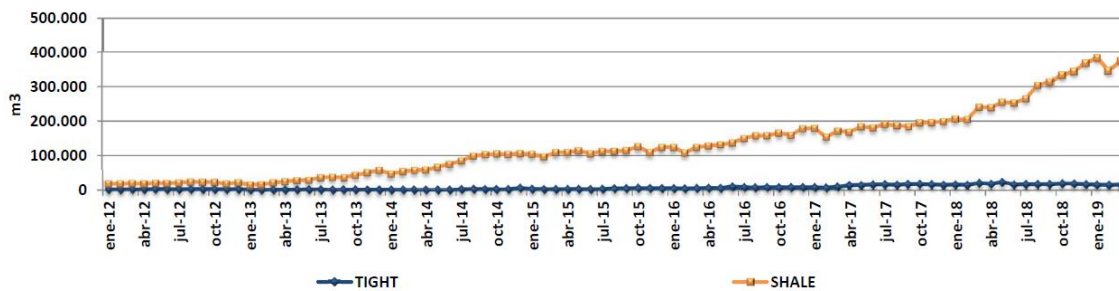


Gráfico 2.4. Evolución de la producción de petróleo No Convencional. *Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.*

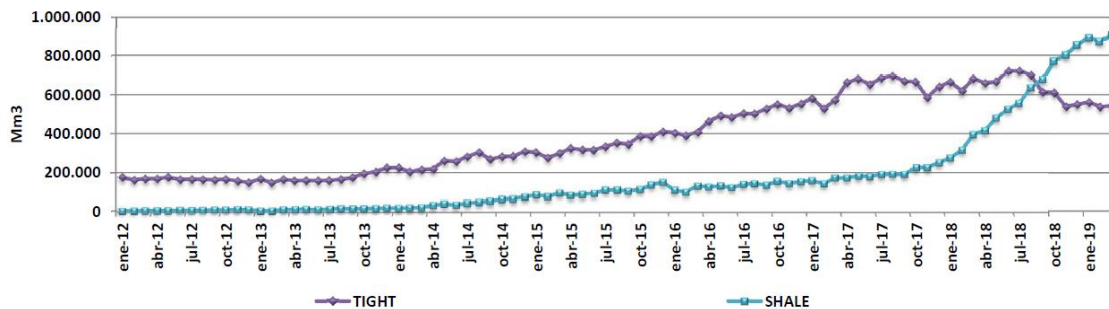


Gráfico 2.5. Evolución de la producción de gas No Convencional. *Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.*

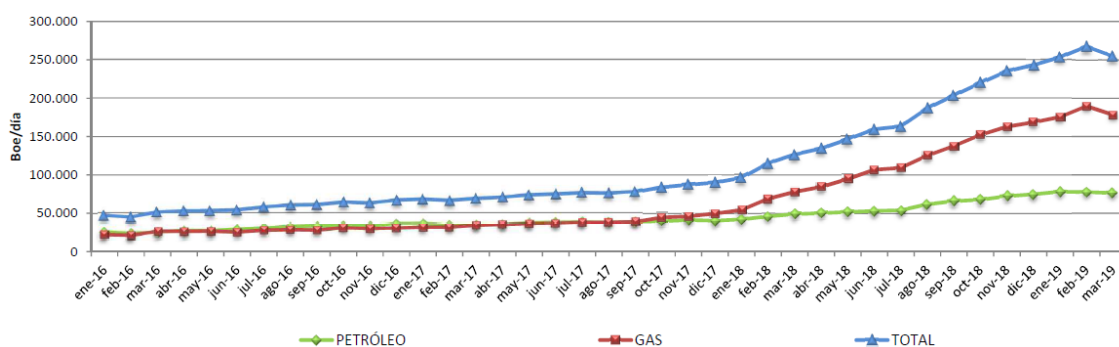


Gráfico 2.6. Evolución de la producción de petróleo y gas No Convencional (Shale). *Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.*

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 30 de 310	

2.3 RESERVAS

Las reservas son esas cantidades de hidrocarburo que se anticipan como recuperables comercialmente a través de la aplicación de proyectos de desarrollo a las acumulaciones conocidas, desde cierta fecha en adelante, bajo condiciones definidas. Las reservas deben satisfacer además cuatro criterios: deben ser descubiertas, recuperables, comerciales y remanentes, basado en el/los proyecto(s) de desarrollo aplicado(s). Es decir, que implica los volúmenes de petróleo y gas de un yacimiento ya descubierto, que será posible producir de ahora en más en condiciones rentables.

La importancia del conocimiento de las reservas de un yacimiento radica en que permiten predecir de alguna manera el comportamiento futuro de dicho yacimiento, dando información acerca de como se comportará la producción de hidrocarburos, teniendo en cuenta lo ya explotado hasta el momento dado que se trata de un recurso no renovable, y como tal, puede agotarse.

Para ello, se muestra debajo en los *Gráficos 2.7 y 2.8*, la evolución de las reservas tanto de petróleo como de gas de yacimientos Convencionales y No Convencionales, en los cuales se observa que las reservas de hidrocarburos de yacimientos No Convencionales presentan un comportamiento similar al observado sobre la producción, ya que se encuentran en continuo aumento.

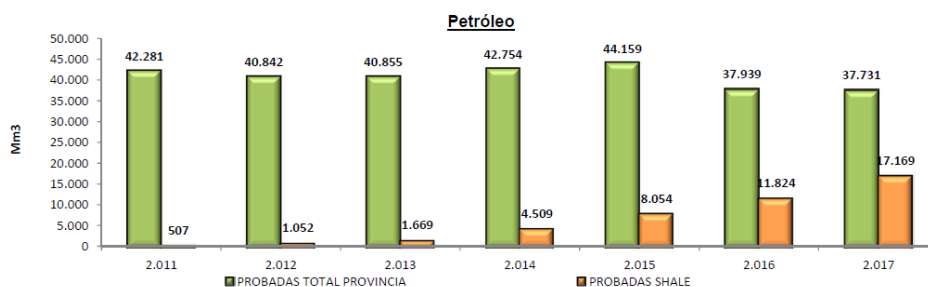


Gráfico 2.7. Evolución de las Reservas de petróleo de yacimientos Convencionales y No Convencionales en Neuquén. Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.

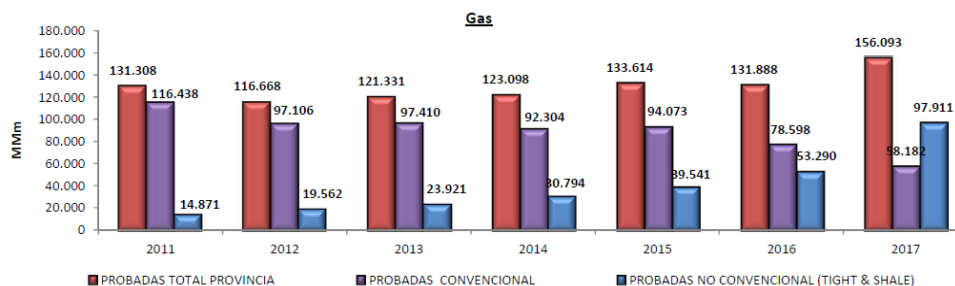




Gráfico 2.8. Evolución de las Reservas de gas de yacimientos Convencionales y No Convencionales en Neuquén. Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 31 de 310	

2.4 MERCADO PROVEEDOR

El presente proyecto tiene como objeto el desarrollo de una planta de tratamiento de agua de retorno. Este proceso constituye un servicio que será prestado a aquellas compañías operadoras que realicen estimulaciones hidráulicas, por lo que la materia prima principal del proceso resulta ser el agua a tratar. Es por ello, que para el análisis del mercado proveedor deben ser considerados aquellos insumos con los que se precisa contar para llevar a cabo el servicio. Se verá más adelante, que, para el proceso de tratamiento escogido, se tiene como principales insumos las sales de carbonato e hidróxido de sodio.

La información para la evaluación de los posibles proveedores, se extrae del Anuario del Instituto Petroquímico Argentino, en el cual se encuentra la información estadística de la industria petroquímica y química de la Argentina.

A continuación, en las *Tablas 2.1* y *2.2* se muestra la información recolectada de dicho anuario.

Tabla 2.1. Detalle de la producción y proveedores de Carbonato de Sodio en Argentina.

CARBONATO DE SODIO (Soda Solvay)						
NCM: 2836.20.10 (Anhidro) 2836.20.90 (los demás)						
AÑO	PRODUCCION (t)	IMPORTACION (t)	EXPORTACION (t)	CONSUMO APARENTE (t)	VALOR COMERCIO EXTERIOR (US\$/t)	
					IMPORTACION (CIF)	EXPORTACION (FOB)
2008	215.190	140.021	33.633	321.578	227	269
2009	216.850	112.742	19.971	309.621	265	282
2010	225.760	93.594	17.446	301.908	221	243
2011	218.480	132.454	11.799	339.135	226	318
2012	233.570	159.757	7.471	385.856	252	351
2013	222.775	117.392	4.593	335.574	248	364
2014	235.920	149.524	2.957	382.487	241	363
2015	S/D	116.975	3.375	S/D	252	353
2016	S/D	167.926	1.375	S/D	262	349
2017	S/D	238.058	270	S/D	260	386

PRODUCTOR	LOCALIZACION	CAPACIDAD INSTALADA (t/a al 31/12/17)
ALCALIS DE LA PATAGONIA S.A.I.C.	San Antonio Oeste (Río Negro)	250.000 ⁽¹⁾

Observaciones: (1) Puesta en marcha: abril 2005.



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 32 de 310	

Tabla 2.2. Detalle de la producción y proveedores de Hidróxido de Sodio en Argentina.

HIDRÓXIDO DE SODIO 100 % (Soda Cáustica)						
NCM: 28 ⁵ .5 ¹ .00 (Sólido) 28 ⁵ .5 ¹ .2.00 (En disolución acuosa)						
ANO	PRODUCCION (t)	IMPORTACION (t)	EXPORTACION (t)	CONSUMO APARENTE (t)	VALOR COMERCIO EXTERIOR (US\$/t)	
					IMPORTACION (CIF)	EXPORTACION (FOB)
2008	327.343	24.471	16.704	335.110	813	852
2009	287.563	19.619	27.696	279.486	796	707
2010	277.318	22.489	10.611	289.196	627	478
2011	320.666	13.569	22.755	312.480	921	682
2012	337.587	10.992	21.707	326.872	1.002	781
2013	345.490	12.048	16.438	341.100	1.030	918
2014	320.807	8.223	31.393	297.637	881	565
2015	306.139	9.605	20.441	295.303	698	587
2016	304.247	9.041	13.478	299.810	639	511
2017	319.716	6.168	19.126	306.758	952	774

PRODUCTOR	LOCALIZACION	CAPACIDAD INSTALADA (t/a al 31/12/17)
ATANOR S.C.A.	Río Tercero (Córdoba)	43.200
CLOROX ARGENTINA S.A.	Pilar (Bs. As.)	17.153
JUAN MESSINA S.A.	Chacras de Coria (Mdza.)	8.400 ⁽¹⁾
LEDESMA SAAI	Pblo. Ledesma (Jujuy)	7.700
PETROQUIMICA BERMUDEZ S.A.	Cap. Bermudez (Santa Fe)	37.000 ⁽¹⁾
PETROQUIMICA RIO TERCERO S.A.	Río Tercero (Cba.)	28.500
UNIPAR INDUPA SAIC	Bahía Blanca (Bs. As)	194.000
TRANSCOLOR S.A.	Pilar (Bs. As.)	108.000 ⁽²⁾

Nota: (1) Planta actualmente inactiva.

(2) Ampliación de la capacidad instalada a 126.000 t/a con fecha estimada de puesta en marcha diciembre 2018


En el mercado de los proveedores se deben estudiar tres aspectos fundamentales: el precio, la disponibilidad y la calidad de los insumos.

Para el caso de la sal de Carbonato de Sodio, se observa que como único productor se tiene a ALCALIS DE LA PATAGONIA S.A.I.C.

Por otra parte, para escoger entre los productores de Hidróxido de Sodio, se tiene como limitante la capacidad de producción de cada uno, por lo que elige aquellos con mayor disponibilidad de producto, como lo es la Empresa UNIPAR INDUPA SAIC o TRANSCOLOR S.A.

2.5 MERCADO COMPETIDOR

Actualmente, el agua que se utiliza para fractura hidráulica está conformada por una mezcla en proporciones adecuadas (aproximadamente 1:1), de agua dulce y agua de retorno. El volumen que se toma varía de acuerdo a la calidad del agua de retorno y a las exigencias de las empresas de servicios de fractura, pero no suelen superar al 15% del agua consumida. Esta metodología adoptada trae aparejados grandes inconvenientes, ya que en primer lugar utiliza grandes caudales de agua dulce que es

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 33 de 310	

extraída directamente del río, lo cual debe ser controlado rigurosamente por la legislatura. Por otra parte, el agua proveniente del pozo luego de la fractura (agua de retorno), no está siendo tratada, sino que, al ser mezclada con el agua dulce, es reinyectada y como se ha dicho anteriormente, la misma posee grandes cantidades de sólidos, barros, sales disueltas e incluso hidrocarburos y otros químicos sintéticos agregados durante el proceso de fractura. Esto último puede generar grandes problemáticas, tanto de índole ambiental como productiva, ya que el agua sin tratamiento provoca el deterioro de los equipos utilizados para la fractura.

Asimismo, es práctica habitual destinar el agua de flowback a la inyección a formación o reutilizarla en actividades secundarias del rubro como riego de caminos, obras civiles y lavado de equipos. Estas últimas actividades no suelen presentar mayores exigencias en cuanto a la calidad, aunque tampoco requieren grandes volúmenes respecto de los que produce la industria.


La inyección a formación, abarca tanto aquella reutilizada en tareas de recuperación secundaria como la inyección en pozos sumideros. Aunque frecuentes, no todos los yacimientos cuentan con sistemas de recuperación secundaria en ejecución. Particularmente en reservorios no convencionales, no es una técnica aplicable para aumentar la recuperación de hidrocarburos.

De este modo, en yacimientos no convencionales la inyección en pozos sumidero es el destino del agua producida más frecuente. Un pozo sumidero es una instalación destinada a inyectar agua residual en formaciones no productivas, que poseen condiciones de entrapamiento estructural que garantizan la estanqueidad de los fluidos de modo de imposibilitar su vinculación con otras aguas subterráneas.

Uno de los aspectos más delicados de la inyección en pozos sumideros desde la perspectiva ambiental, es asegurar la estanqueidad de los fluidos inyectados. Esto tiene implícito en primera instancia, la posibilidad de asegurar la aislación hidráulica del pozo por el estado de integridad de las cañerías y de su cementación. Esta aislación aseguraría el efectivo ingreso del fluido inyectado a la formación objetivo.

El segundo aspecto sobre la estanqueidad de los fluidos es garantizar la ausencia de fallas o estructuras geológicas que permitan la migración del agua inyectada hacia otras formaciones, que puedan generar impactos sobre la calidad de acuíferos existentes.

Los pozos inyectoros suelen ser pozos productores fuera de servicio que se reconvierten. Si bien esta conversión supone pruebas hidráulicas para verificar su hermeticidad, no es posible ignorar que los pozos más antiguos son los más vulnerables a problemas de corrosión. De este modo, suelen presentar dificultades en cuanto a integridad y adhesión de los cementos de aislación.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 34 de 310	

Hasta el momento, se tiene el conocimiento de algunas empresas que han desarrollado y puesto en marcha plantas de tratamiento de agua de retorno. No obstante, según la información recolectada, estas plantas no han superado la escala piloto y en muchas de ellas el tratamiento no ha sido suficiente para superar los inconvenientes asociados con este agua. Se puede concluir entonces que una condición óptima, y la que se busca con el presente proyecto, es lograr que la totalidad del flowback producido pueda ser reintroducido en otras operaciones mediante un tratamiento adecuado. De este modo se obtendría un ciclo virtualmente cerrado donde tanto los consumos de agua como los vertidos de efluentes se minimizarían.

2.6 MERCADO CONSUMIDOR

2.6.1 Servicio Principal

Para la evaluación del mercado consumidor, se recurre a la información proporcionada por la Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos de la provincia, la cual detalla las diferentes empresas y áreas que participan en la producción de hidrocarburos no convencionales.

Tabla 2.3. Porcentaje por empresa de la participación sobre la producción de Petróleo No Convencional.

Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.

	EMPRESA	% participación sobre producción
1	YPF S.A.	51%
2	CIA DE H. NO CONVENCIONALES SRL	15%
3	CHEVRON ARGENTINA S.R.L.	4%
4	PETRONAS E & P ARGENTINA S.A	4%
5	PAN AMERICAN ENERGY LLC SUC. ARG.	4%
6	TECPETROL S.A.	4%
7	O&G DEVELOPMENTS LTD SA	3%
8	SPM ARGENTINA S.A	3%
9	VISTA OIL & GAS	3%
10	PLUSPETROL S.A.	2%
	RESTO	7%

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 35 de 310	

Tabla 2.4. Porcentaje por área de la participación sobre la producción de Petróleo No Convencional.

Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.

	ÁREA	% participación sobre producción
1	LOMA CAMPANA	31%
2	LA AMARGA CHICA	8%
3	CHIHUIDO DE LA SIERRA NEGRA	8%
4	LOMA LA LATA - SB	7%
5	BANDURRIA SUR	5%
6	PUESTO HERNANDEZ	4%
7	EL TRAPIAL - CURAMCHED	4%
8	FORTIN DE PIEDRA	3%
9	BAJADA DEL PALO	2%
10	BANDURRIA CENTRO	2%
	RESTO	26%

Tabla 2.5. Porcentaje por empresa de la participación sobre la producción de Gas No Convencional.

Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.

	EMPRESA	% participación sobre producción
1	YPF S.A.	31%
2	TECPETROL S.A.	27%
3	TOTAL AUSTRAL S.A.	8%
4	PAN AMERICAN ENERGY LLC SUC. ARG.	7%
5	WINTERSHALL ENERGIA S.A.	5%
6	PAMPA ENERGIA S.A	4%
7	PBB POLISUR	4%
8	PLUSPETROL S.A.	3%
9	CAPEX S.A.	2%
10	PETROBRAS OPERACIONES S.A.	2%
	RESTO	7%

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 36 de 310	

Tabla 2.6. Porcentaje por área de la participación sobre la producción de Gas No Convencional. *Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.*

	ÁREA	% participación sobre producción
1	FORTIN DE PIEDRA	26%
2	AGUADA PICHANA	13%
3	LOMA LA LATA - SB	11%
4	EL OREJANO	6%
5	SAN ROQUE	5%
6	LINDERO ATRAVESADO	4%
7	RINCON DEL MANGRULLO	4%
8	RIO NEUQUEN	4%
9	CENTENARIO	3%
10	LOMA CAMPANA	3%
	RESTO	21%

Dentro de las empresas que se dedican a la explotación y exploración de yacimientos no convencionales en la provincia, se observa a YPF como aquella que posee un porcentaje predominante sobre la participación, por lo que asumimos a esta empresa operadora como nuestro principal consumidor.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 37 de 310	

A continuación, se muestra en la [Figura 2.2](#), un mapa con la ubicación de la mayor proporción de pozos no convencionales. Se destacan en color los pozos no convencionales de petróleo (verde) y gas (rojo oscuro) en extracción efectiva.

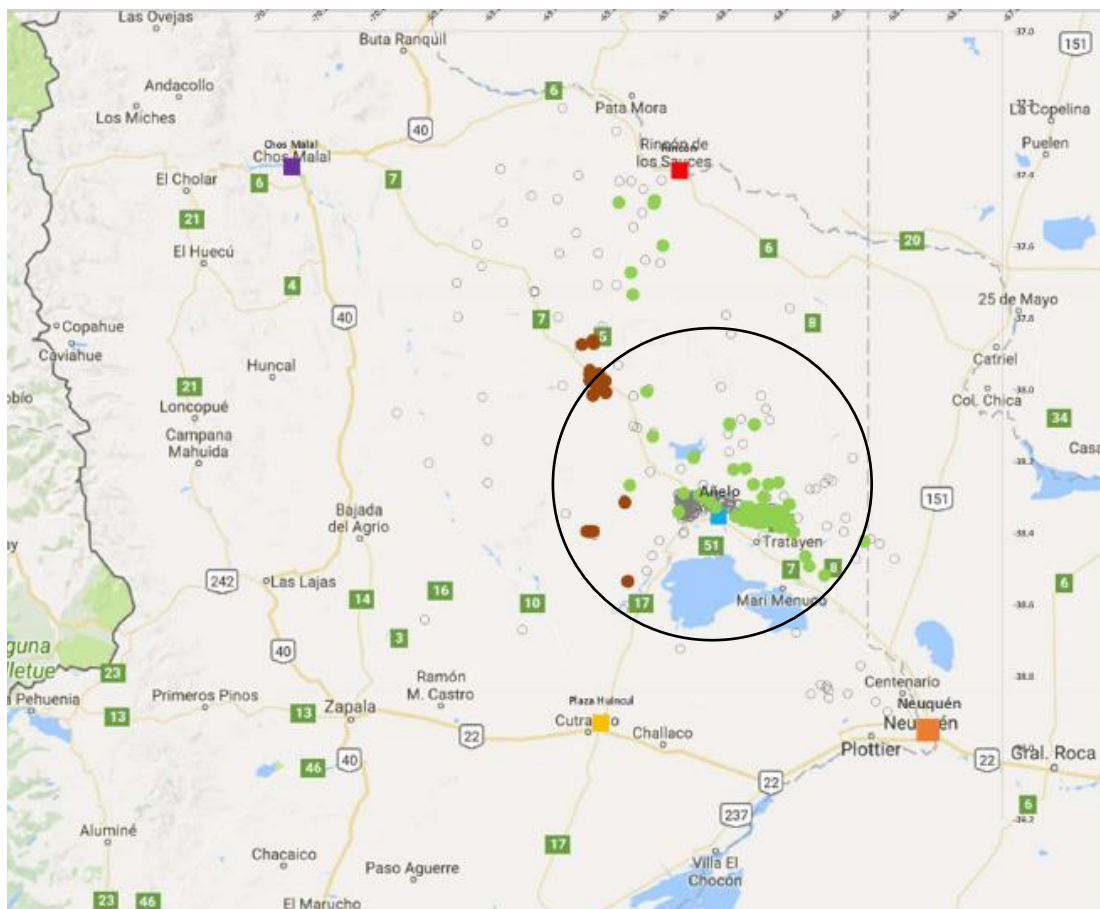



Figura 2.2. Ubicación de los Pozos de tipo No Convencional.

Como se observa en el mapa de la [Figura 2.2](#) y en las [Tablas 2.4](#) y [2.6](#) correspondientes al porcentaje por área de la participación sobre la producción, la mayor concentración de pozos se ve en la zona cercana a la localidad de Añelo. Cabe destacar que la Planta de Separación Trifásica de YPF, que nos brindaría la materia prima, también se sitúa en dicha localidad, más precisamente en el área de Loma Campana, por lo que sería un punto estratégico a considerar a la hora de la ubicación de la planta.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 38 de 310		

2.6.2 Subproductos

Como subproducto del proceso se obtienen las sales de Carbonato de Calcio e Hidróxidos de Hierro y Magnesio. El objetivo de las mismas es ser vendidas para la elaboración de cemento dado que se obtienen en proporciones muy similares a la materia prima utilizada para dicho proceso.

El cemento está constituido principalmente por Clinker y yeso en menor proporción (2 a 5%). A su vez, el Clinker se compone aproximadamente de:

- 60-70 % de silicato tricálcico,
- 10-20 % silicato bicálcico,
- 3-4 % aluminato tricálcico,
- 1-2 % ferritoaluminato tetracálcico.


Esta mezcla es producto de la calcinación de la materia prima con la siguiente composición mineralógica:

- 75% Rocas calizas (Carbonato de calcio, impurezas de magnesio y hierro).
- 15% Rocas Pizarras (Constituidas principalmente por óxido de silicio y óxido de aluminio)
- 10% Rocas arcillosas (Compuesta principalmente por silicatos de aluminio y hierro).

Actualmente, las empresas dedicadas a la fabricación de cemento extraen dicha materia prima de canteras o minas donde para la extracción de los materiales duros como calizas y pizarras se aplican procesos de explotación mediante voladuras, mientras que, en el caso de los materiales blandos como las arcillas, se utilizan excavadoras. Luego de su extracción, los materiales deben ser llevados a una operación de trituración y molienda, de manera de reducir su tamaño y favorecer la combustión en el horno.

Por lo tanto, la materia prima ofrecida a estas empresas resultaría conveniente para el ahorro de costos asociados a los procesos de trituración y molienda.

Como potencial consumidor principal de estos subproductos se reconoce a la empresa Loma Negra ubicada en la localidad de Zapala. Dicha Compañía dispone de una política de registro de proveedores que deben incluir la previa certificación de productos y materiales. Los proveedores críticos son homologados y certificados en Salud, Seguridad y Medio Ambiente.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 39 de 310		

2.7 MERCADO DISTRIBUIDOR

El mercado distribuidor se refiere a la magnitud del canal de distribución para llegar al usuario o consumidor final del producto o servicio ofrecido.

Para el caso del agua tratada, esta deberá ser enviada mediante camiones hacia el lugar donde se realice la fractura.

Por otra parte, respecto a los subproductos obtenidos en el proceso, se identificó como principal consumidor potencial a la Planta de Loma Negra de la Localidad de Zapala, por lo que se debe considerar la logística de camiones para enviar estos productos hacia allí.

Entre las empresas encargadas de la distribución y entrega de estos productos, se pueden nombrar a:

- SIMA.
- TEXEY.
- GTC.
- TSB.
- VDN.
- CGS S.R.L.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 40 de 310		

2.8 ESTADÍSTICA DE LA DEMANDA

El análisis sobre la estadística de la demanda, se realiza en base a la evolución de pozos perforados a lo largo de, al menos, los últimos diez años, dado que un aumento en la cantidad de pozos perforados y terminados, equivale lógicamente a un aumento directamente proporcional en el caudal de agua requerido para realizar la fractura y el correspondiente agua de retorno.

En el *Grafico 2.9* se puede apreciar la evolución de pozos perforados, tanto de tipo convencional como no convencional. Resulta claro que para la estimación de la demanda son de particular interés los pozos perforados no convencionales.

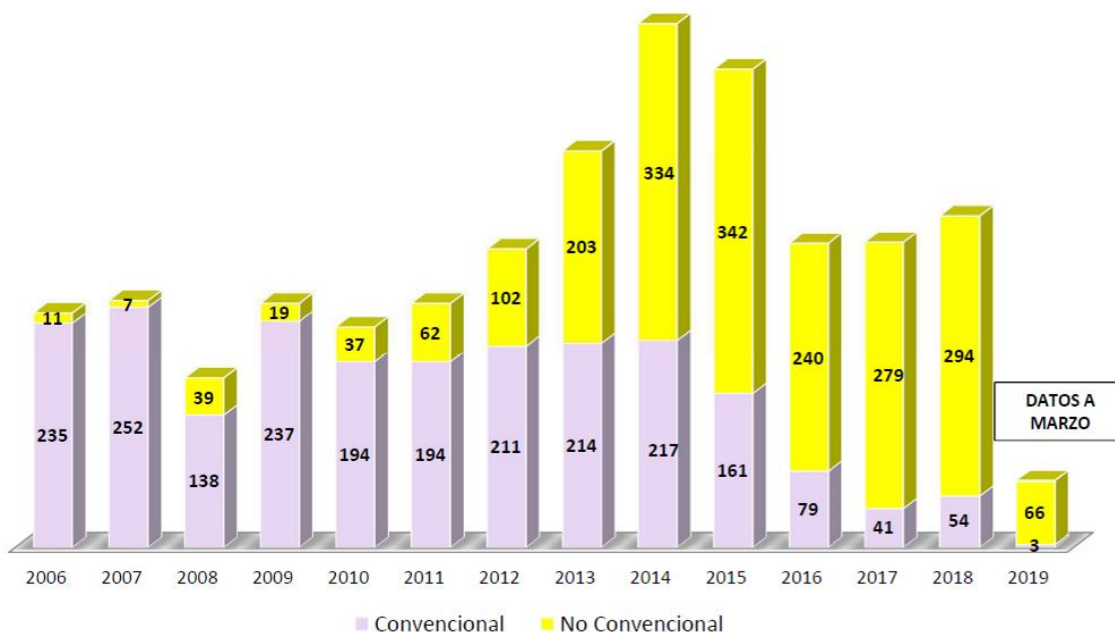


Gráfico 2.9. Evolución de Pozos Perforados Convencionales y No convencionales. *Fuente: Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos.*

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 41 de 310		

2.8.1 Proyección de consumo

Para el posterior cálculo del caudal de agua a tratar, se realizó una proyección de los valores de pozos incorporados para los siguientes diez años realizando una interpolación y utilizando para ello los datos provistos en el *Gráfico 2.9* de la evolución de pozos perforados no convencionales. Los datos obtenidos se muestran debajo en la *Tabla 2.7* y se puede observar la evolución de manera gráfica en el *Gráfico 2.10*.

Tabla 2.7. Proyección de pozos perforados.

Año	Pozos Perforados	Proyección de Pozos Perforados
2006	11	
2007	7	
2008	39	
2009	19	
2010	37	
2011	62	
2012	102	
2013	203	
2014	334	
2015	342	
2016	240	
2017	279	
2018	294	
2019		326
2020		357
2021		387
2022		418
2023		448
2024		479
2025		509
2026		540
2027		570
2028		601
2029		631

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 42 de 310	

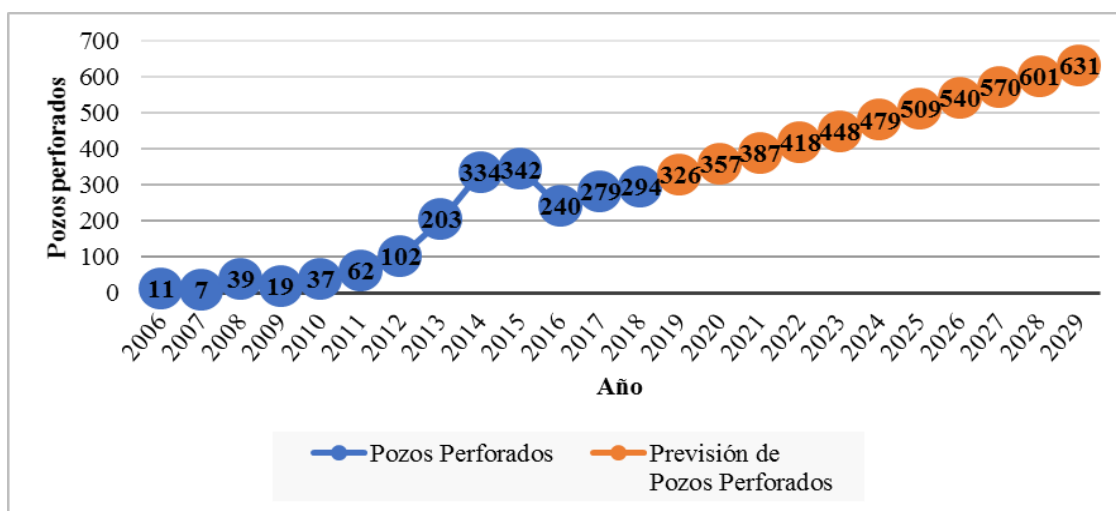



Gráfico 2.10. Proyección de pozos perforados.

Para el cálculo del caudal de agua de retorno a tratar se deben considerar que los consumos de agua asociados a fracturas hidráulicas dependen del diseño de la misma y de la cantidad de etapas que se hagan por pozo. A su vez, esto depende de las características de la formación a estimular y del tipo de pozo: horizontal o vertical.

Es posible considerar un consumo de entre 1.000 y 2.000 m³ por etapa de fractura. En los pozos verticales suelen conllevar cuatro etapas de fractura y los horizontales, entre diez y veinte. En términos generales, si bien ha habido pozos exploratorios que consumieron hasta 30.000 m³, se asume un volumen de consumo promedio de entre 4.000 y 5.000 m³ por pozo vertical y entre 12.000 y 15.000 m³ por pozo horizontal.

Por otra parte, se debe tener en cuenta en el cálculo sólo los pozos pertenecientes a YPF ya que asumimos a dicha compañía como nuestro principal consumidor. Además, de la totalidad de los pozos pertenecientes a YPF, se deben considerar sólo aquellos ubicados en las áreas cuya producción se envía a la Planta de Separación Trifásica de Loma Campana, las cuales son:

- Loma Campana.
- La Amarga Chica.
- Bandurria Sur.
- El Orejano.
- Rincon de Mangrullo.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 43 de 310		


En base a la información brindada con anterioridad respecto de las áreas de reserva y la actividad no convencional en la provincia de Neuquén, se estima que de la totalidad de pozos, el 50% pertenecen a YPF y de ellos, el 30% convergen en Loma Campana.

Por lo tanto, tomando las consideraciones detalladas para el cálculo, se obtiene la totalidad del volumen de agua a tratar anualmente, el caudal diario se obtiene simplemente dividiendo el caudal anual en 330, que corresponden a los días que se estima que la planta estará efectivamente en producción, teniendo en cuenta los paros de planta por fallas, mantenimiento o imprevistos.

De manera semejante al cálculo de la proyección de los pozos perforados, se muestra ahora la proyección del caudal de agua de retorno a tratar, expresado en caudal diario.

Tabla 2.8. Proyección del Caudal de Agua de Retorno

Año	Caudal de Agua de Retorno [m³/día]	Proyección de Caudal de Agua de Retorno [m³/día]
2006	100	
2007	64	
2008	355	
2009	173	
2010	336	
2011	564	
2012	927	
2013	1845	
2014	3036	
2015	3109	
2016	2182	
2017	2536	
2018	2673	2673
2019		2964
2020		3242
2021		3519
2022		3796
2023		4073
2024		4350
2025		4628
2026		4905
2027		5182
2028		5459
2029		5736

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 44 de 310	

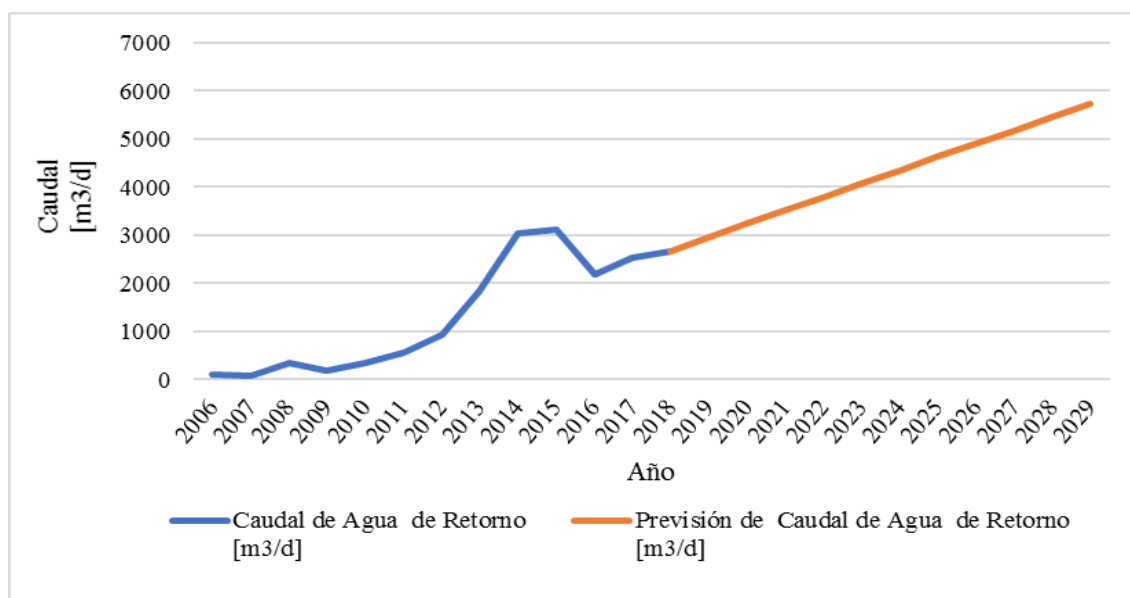




Gráfico 2.11. Proyección del Caudal de Agua de Retorno.

Tal y como se observa en la *Tabla 2.8* y el *Gráfico 2.11*, el consumo de agua se verá en constante aumento, por lo cual, se espera que la demanda del servicio brindado también presente el mismo comportamiento.

2.8.2 Módulo de producción

El proyecto se iniciará con una unidad de producción con una capacidad estimada de procesamiento de 5000 m³/día de agua de flowback. Esta capacidad escogida para la unidad es la suficiente para cubrir la demanda de los próximos 10 (diez) años. Pasado este periodo, se deberá contar con otra unidad de igual capacidad, la cual se acoplará para trabajar ambas en paralelo.

Cabe aclarar que no se considera una unidad con mayor capacidad desde el inicio dado que no se justifican los gastos asociados a la construcción y mantenimiento.


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 45 de 310	

2.9 ANÁLISIS FODA

<p><u>Fortalezas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Decreto 1483 de la provincia de Neuquén en el que se exige el reúso del agua para fractura hidráulica. ➤ Actualmente las empresas no realizan el tratamiento suficiente del agua de Flowback. 	<p><u>Oportunidades</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ El proceso es adaptable a diferentes condiciones del agua de flowback, por lo que no sería un inconveniente tratar agua proveniente de distintos Yacimientos y empresas. ➤ Operación simple y bajo costo de mantenimiento. ➤ Unidades modulares por lo que podría abarcarse gran cantidad de la demanda y con caudales de trabajo variables. ➤ Venta de subproductos.
<p><u>Debilidades</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Dependencia de la fluctuación del precio del barril de petróleo. 	<p><u>Amenazas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Resistencia de parte de las empresas al tratamiento del agua de flowback debido a la alta disponibilidad de agua fresca.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

- Augello, I. J. (2014). *Tratamiento de Flowback : El Desafío es Posible*. Obtenido de <https://www.tratamientodeagua.com.br/artigo/tratamiento-de-flowback-el-desafio-es-posible/>.
- Perez, A. (2015). *Hidrocarburos Convencionales y No Convencionales*.
- Piana, C. V. (2017). *Estadísticas Petroleras de Vaca Muerta*. Neuquén.
- Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos (Abril 2019). Ministerio de Energía y Recursos Naturales. *Informe Estadístico Producción de Petróleo y Gas en la Provincia de Neuquén*. Neuquén.
- Sapag Chain, N. (2011). *Proyectos de Inversión. Formulación y Evaluación*. Chile: Pearson. Segunda Edición.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 46 de 310	

3 PROCESO

En esta sección del presente proyecto, se hará una descripción detallada del proceso de tratamiento realizada al agua de retorno. Sin embargo, previo a ello, es necesario analizar las características fisicoquímicas de dicha agua para fundamentar el proceso seguido. Esto es, la manera en que se determina cada uno de estos parámetros, la importancia e inconvenientes asociados a cada uno de ellos, los valores normalmente encontrados como así también las especificaciones con que debe contar el agua al finalizar el proceso.

3.1 ANÁLISIS DEL AGUA DE RETORNO

El agua de retorno puede poseer características fisicoquímicas muy variadas, dado que es posible que la misma provenga de diferentes pozos con cualidades diferentes, de los cuales es utilizada y extraída pero además depende fundamentalmente de las características del fluido de inyección. Es posible considerar que los aditivos químicos utilizados se pierden en su mayoría: los polímeros se descomponen por efecto de la temperatura, los biocidas se consumen y degradan y los surfactantes son absorbidos por la superficie de la roca; sólo los inhibidores de incrustaciones precipitan y van retornando con la producción.

Es por este motivo que previo al proceso de tratamiento, la planta contendrá una serie de equipos e instrumentos destinados al análisis del agua para conocer específicamente sus características. Se describirán en detalle entonces, las técnicas de muestro y diferentes análisis realizados al agua de retorno.

Cabe aclarar aquí, que el laboratorio dentro de la planta se debe encargar de analizar el agua antes, posterior o en algún punto dentro del proceso de tratamiento, para estar en conocimiento del funcionamiento del mismo y poder detectar posibles fallas, requerimientos de ajuste o mantenimiento en los equipos. Sin embargo, los resultados finales del análisis del agua deben ser declarados por un laboratorio externo a la empresa, de manera que estos sean sumamente fiables.

3.1.1 Muestreo

Uno de los primeros ítems de interés en la manipulación del agua es la toma de muestras para determinar sus propiedades fisicoquímicas. Se dan aquí entonces, algunas consideraciones en el procedimiento de la toma de muestras que se deben tener en

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 47 de 310	

cuenta de manera que dichas muestras resulten representativas para que los resultados arrojados en el análisis posterior de las mismas sean de suma confianza.

3.1.1.1 Contenedores de las muestras

Se recomienda el uso de botellas de vidrio limpias (preferentemente nuevas) con tapas herméticas para los muestreos de agua de rutina, dado que el petróleo u otros materiales orgánicos se adhieren a las paredes de un contenedor plástico y son absorbidos por estos. Generalmente se utilizan botellas de 500 mL o un litro. Existen diversos tipos de botellas y diferentes diseños de tapas disponibles. Una vez que se haya seleccionado una combinación de botella y tapa en particular, se llena con agua, se tapa y se ajusta para asegurarse de que la tapa no se saldrá. Las botellas de boca ancha son generalmente más fáciles de llenar, pero tienen tapas menos fiables.

Luego se debe rotular la botella (no la tapa) para que la muestra pueda ser identificada, indicando día y hora de la toma de la muestra. Cuando las muestras deban ser enviadas al laboratorio externo por lo que deban ser transportadas a una distancia considerable, se las debe proteger con tubos o cajas de cartón.

No se deben utilizar bajo ninguna circunstancia un contenedor de metal o tapas metálicas dado que el agua las puede corroer y se contaminaría la muestra.



3.1.1.2 Volumen de muestra

Para un análisis de rutina se recomienda un volumen de muestra mínimo de 500 mL.

Sin embargo, si en un caso especial se requiere de algún análisis en particular in situ se puede tomar solamente el volumen que se requiera. Para cuando las muestras se envíen a un laboratorio externo, se debe tener en cuenta de enviar mayor volumen del valor mínimo requerido de manera que sea suficiente para realizar todos los análisis y para el caso que se precise de la repetición de alguno de ellos.


3.1.1.3 Procedimiento del muestreo

Se debe contar con válvulas para muestreo en distintas partes del proceso. Para la toma de la muestra se debe conectar una pieza de tubo plástico en el extremo de la válvula utilizando una boquilla o conector de manguera pequeño. Se procede luego a abrir la válvula y se deja que el agua corra al menos por un minuto. Se debe realizar entonces una apreciación visual, de manera que se debe observar si el color del agua cambia. Si es así, se aguarda mayor cantidad de tiempo hasta que su color sea constante. Es

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 48 de 310

probable que haya algunos restos de agua en la válvula o en el fondo del tubo, y estos deben ser eliminados para obtener una muestra optima.

Una vez que se tenga un flujo de agua representativo, se debe enjuagar la botella en la cual se recolectará la muestra tres veces. Luego se coloca la manguera en el fondo de la botella y se procede al llenado de la misma. Finalmente se extrae lentamente la manguera y se procede a cerrar rápidamente la botella para minimizar la contaminación por oxígeno y el escape de gases disueltos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 49 de 310	



3.1.2 Técnicas de análisis

En la norma API RP 45, *Análisis de agua en el campo petrolífero*, se encuentran las técnicas recomendadas para la medición de los distintos parámetros del agua.

En la *Tabla 3.1* se resumen los tipos de métodos que se utilizan normalmente para analizar una muestra de agua.

Tabla 3.1. Métodos de análisis de aguas en el campo petrolero.

Parámetro	Métodos de análisis
pH	Peachímetro, Colorimétrico, papel de pH.
Densidad	Picnómetro
Temperatura	Termómetro
Conductividad	Conductímetro
Total de Sulfuros	Prueba Alkaseltzer, Colorimétrico, Titulación
Dióxido de carbono	Titulación
Oxígeno disuelto	Medidor de oxígeno, Titulación, Colorimétrico
Cloruros	Titulación
Sulfatos	Turbidimétrico, Gravimétrico.
Carbonatos	Titulación
Bicarbonatos	Titulación
Sodio	Cálculo, Espectroscópico, Gravimétrico.
Calcio	Titulación, Gravimétrico, Espectroscópico.
Magnesio	Titulación, Gravimétrico, Espectroscópico.
Hierro	Colorimétrico, Titulación, Espectroscópico.
Bario	Turbidimétrico, Espectroscópico.
Potasio	Cálculo, Espectroscópico, Gravimétrico.
Total de sólidos suspendidos	Gravimétrico
Total de sólidos disueltos	Gravimétrico
Tamaño de la partícula	Contador Coulter, dispersión de la luz, microscopia.
Forma de la partícula	Microscopia.
Composición de los sólidos	Análisis químicos.
Turbidez	Turbidimétrico.
Hidrocarburos	Espectroscopia infrarroja, Colorimétrico, Titulación
Dureza total (CO₃Ca)	Titulación Complejométrica.
Bacterias	Cultivo, microscópico.
Calidad del agua	Prueba de filtro de membrana.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 50 de 310		

3.1.2.1 Métodos utilizados y normas de referencia

3.1.2.1.1 *pH (Standard Methods 4500 H-B)*

La norma tomada de referencia para la medición del pH es la *Standard Methods 4500 H-B*. En la misma se encuentra el procedimiento detallado para el uso del peachimetro así como algunas consideraciones que se deben tener en cuenta. Al mismo tiempo, la norma citada prohíbe el uso del colorímetros o cintas de papel de pH, dada la poca precisión y confiabilidad de estos métodos, aunque los mismos pueden ser utilizados como una posible aproximación.

El procedimiento para la medición del pH básicamente se resume en:

- 1- El agua del grifo es mejor que el agua destilada para el almacenamiento de electrodos, pero el pH 4 es el mejor para el electrodo de vidrio único y el KCl saturado es el mejor para un calomel y un electrodo de referencia de Ag / AgCl y un electrodo de combinación. Mantener los electrodos húmedos con las soluciones anteriores mientras el medidor de pH no esté en uso.
- 2- Retirar el electrodo de la solución de almacenamiento, enjuagar, secar con un paño y colocarlo en una solución tampón inicial para establecer el punto isopotencial antes de usarlo.
- 3- Enjuagar, secar con un paño y colocarlo en un segundo tampón que se encuentre dentro de las 2 unidades de pH de la muestra y que esté a la misma temperatura que la muestra. Registrar la temperatura y ajustar el dial de temperatura en el medidor.
- 4- Retirar el electrodo del segundo tampón, enjuagar, secar con un paño y colocarlo en un tercer tampón <pH 10 y dentro de aproximadamente 3 unidades de pH del segundo tampón. La respuesta del medidor debe estar dentro de 0.1 unidades de pH del valor esperado. La estandarización anterior ajusta la respuesta del electrodo de vidrio al instrumento.
- 5- Estandarizar el instrumento antes de cada medición cuando se mida solo ocasionalmente. Establecer el equilibrio entre la muestra y el electrodo agitando la muestra hasta homogeneidad y agitando la muestra para liberar dióxido de carbono. Para muestras de alta fuerza iónica o aquellas tamponadas, sumergir los electrodos en la muestra durante 1 minuto para acondicionar, secar con un trapo, sumergir en una alícuota de muestra nueva y leer el pH. Para muestras diluidas, pobremente tamponadas, sumergir los electrodos en 3 o 4 partes alícuotas sucesivas de la muestra para equilibrar.
- 6- Secar con una secadora, sumergir en una porción fresca de muestra y leer el pH.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 51 de 310		

3.1.2.1.2 Densidad a 18 °C (ASTM D 4052-18)

Este método describe el procedimiento experimental que se debe seguir para determinar la densidad de una cierta disolución acuosa (ρ_d). Establece que, para determinar la densidad de un líquido con el método del picnómetro, solamente se necesita la masa del mismo en tres situaciones diferentes. Todas las masas deben determinarse en balanza analítica y con la tapa. El procedimiento a seguir descripto por la norma para la medición de la densidad consiste básicamente en los siguientes ítems.

- 1- Pesar el picnómetro vacío y anotar su masa (m_p)
- 2- Enrasar el picnómetro con agua desmineralizada (fluido de referencia) y anotar su masa (m_{p+w}). Enrasar el picnómetro significa llenarlo completamente, evitando la formación de burbujas en su interior. Al cerrarlo, el nivel de agua subirá por el capilar y ésta rebosará, quedando el capilar también lleno de agua. Una vez el agua haya rebosado, habrá que secar el picnómetro por fuera antes de pesarlo.
- 3- Enrasar el picnómetro con muestra y anotar su masa (m_{p+d}) (se sigue el mismo procedimiento y se tienen las mismas precauciones que al enrasar el picnómetro con agua desmineralizada).

De esta manera, contando con los datos de las masas, es posible calcular la densidad de la muestra mediante la ecuación:

$$\rho_d = \frac{m_{p+d} - m_p}{m_{p+w} - m_p} \cdot \rho_w$$

Donde,

ρ_d = densidad de la muestra de agua a determinar.

ρ_w = densidad del agua desmineralizada.

m_p = masa del picnómetro vacío.

m_{p+w} = masa del picnómetro lleno con agua desmineralizada.

m_{p+d} = masa del picnómetro lleno con agua de muestra.

3.1.2.1.3 Conductividad a 25°C (Standard Methods 2510 B)

La conductividad y su inversa, la resistividad, valoran la capacidad de conducir corriente eléctrica, que en soluciones acuosas es proporcional a la concentración de sólidos y iones disueltos.

En el laboratorio, se mide la conductancia (o resistencia) de una solución de KCl estándar y, a partir de la conductividad correspondiente, se calcula un constante celular.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 52 de 310	

Una vez que la constante de celda se haya determinado o establecido, el medidor mostrará la conductividad de una solución desconocida.

3.1.2.1.4 Crecimiento microbiano

El método de cuantificación de bacterias se realiza mediante la utilización de caldos de cultivos, específicos, anaeróbicos, provistos de nutrientes, sales, hierro metálico y todas las condiciones óptimas para favorecer su desarrollo.

El análisis se realiza mediante diluciones del agua problema, estacionado a temperaturas óptimas de crecimiento, durante 28 días. El caldo que cambia de color incoloro a negro indica la presencia de bacterias.

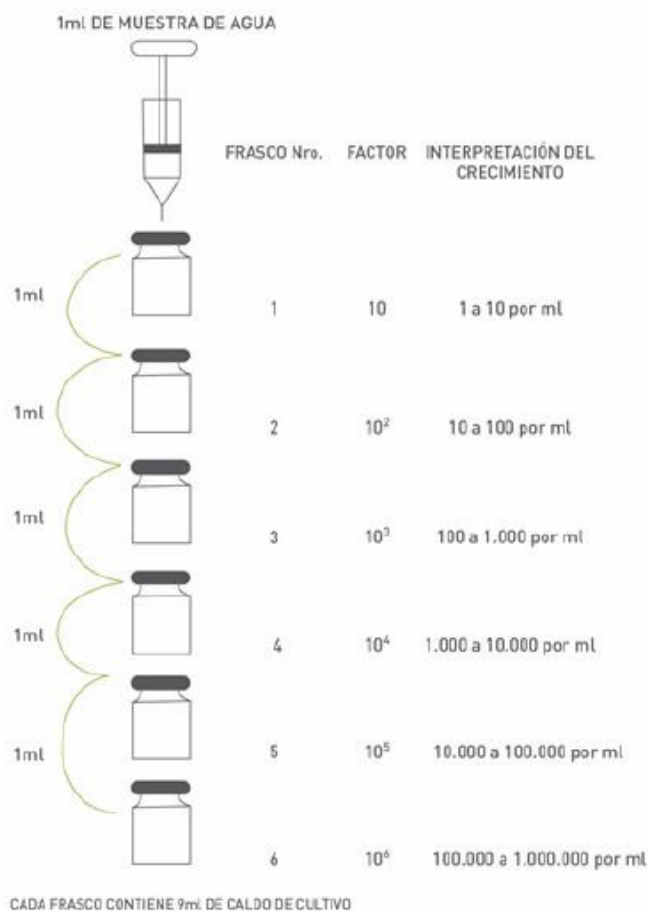




Gráfico 3.1. Esquema de siembra de bacterias.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 53 de 310		

3.1.2.1.5 Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida de la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica presente en el agua. Es el parámetro de polución orgánica más utilizado, que supone la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos a condiciones de incubación, durante un lapso dado para alcanzar la oxidación biodegradable presente en el agua.

3.1.2.1.6 Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar tanto la materia orgánica como otras sustancias reductoras presentes en el agua. Lógicamente, el valor de DQO es más alto que el de DBO y ambos resultados se correlacionan.

3.1.2.1.7 Análisis Químico Cuantitativo

El análisis cuantitativo consiste simplemente en determinar la cantidad de cada componente que está presente en una muestra determinada. Los tres tipos de análisis químicos cuantitativos encontrados normalmente en el laboratorio son: titulación, análisis colorimétrico y análisis turbidímetro.

Se describen aquí estos tres análisis y se dan luego los métodos de determinación específicos para cada especie.

3.1.2.1.7.1 Titulación

La titulación, valoración o estandarización es un método de análisis químico cuantitativo en el laboratorio que se utiliza para determinar la concentración desconocida de un reactivo a partir de un reactivo con concentración conocida.

Un reactivo llamado “valorante” o “titulante”, de volumen y concentración conocida (una solución estándar o solución patrón) se utiliza para que reaccione con una solución del analito, de concentración desconocida.

El procedimiento adecuado para llevar a cabo una titulación o valoración comienza con un vaso de precipitados o matraz Erlenmeyer conteniendo un volumen preciso del reactivo a analizar y una pequeña cantidad de indicador (sustancia que cambia de color e indica el punto final de titulación), colocado debajo de una bureta que contiene la

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 54 de 310	

disolución estándar. Controlando cuidadosamente la cantidad añadida, es posible detectar el punto en el que el indicador cambia de color. Leyendo en la escala de la bureta sabremos con precisión el volumen de disolución añadida. Como la concentración de la disolución estándar y el volumen añadido son conocidos, se puede calcular la concentración del analito deseado en la muestra, sabiendo que una masa equivalente de la solución estándar reaccionará con una masa equivalente del ion analito.


En la mayor parte de las titulaciones, ciertos iones, diferentes de los iones de interés, reaccionan con la solución estándar. Esto puede ocasionar un grave problema si los iones que interfieren se encuentran presentes en grandes cantidades con respecto a las cantidades presentes del ion analito. En la tabla 3.2 se nombran algunas titulaciones comunes con sus respectivos indicadores utilizados y las interferencias que pueden existir para cada una de ellas.

Tabla 3.2. Valoraciones comunes e interferencias.

Ion	Titulante	Indicador	Interferencias
Carbonato (CO_3^{2-})	Ácido sulfúrico (H_2SO_4) ó Ácido clorhídrico (HCl)	Fenolftaleina	Borato, Silicato y fosfato.
Bicarbonato (HCO_3^-)	Ácido sulfúrico (H_2SO_4) ó Ácido clorhídrico (HCl)	Anaranjado de Metilo	
Calcio (Ca^{++})	EDTA	Calcón o Murexina	Bario, Estroncio y Hierro.
Magnesio (Mg^{++})	EDTA	Negro de eriocromo T	
Cloruro (Cl^-)	Nitrato de plata (AgNO_3)	Cromato de potasio (K_2CrO_4)	Bromuro, Yoduro, tiocianato, fosfato, carbonato.

3.1.2.1.7.2 Análisis colorimétrico

Los métodos colorimétricos son los más usados debido a su simplicidad. Este tipo de prueba consiste en el agregado de material a la muestra de agua, la cual reaccionará específicamente con las especies en cuestión y producirá una solución coloreada. La intensidad del color es proporcional a la cantidad de especies presentes. La concentración de la sustancia en el agua se encuentra por medio de la comparación del color de la muestra con los colores estándar de concentración conocida.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 55 de 310		

También se encuentran disponibles espectrofotómetros a batería o colorímetros y pueden usarse para muchos procedimientos. Los reactivos de color están disponibles en paquetes previamente pesados que son convenientes para el uso en el campo.

3.1.2.1.7.3 Análisis Turbidimétrico

En este tipo de análisis, se agrega un reactivo al agua, que reaccionara con el ion de interés para formar un sólido precipitado finamente dividido.

El precipitado crea una solución turbia, y el grado de turbiedad, o turbidez, es proporcional a la cantidad de ion presente.

3.1.2.1.7.4 Comparación de los análisis químicos cuantitativos

- La técnica de titulación es la más exacta.
- Las técnicas colorimétricas son las más sencillas y sensibles, lo cual significa que es posible detectar concentraciones de analito más pequeñas.
- Los análisis turbidimétricos son los menos exactos.

Ahora bien, se han estudiado los tres tipos de análisis químicos cuantitativos y su comparación. Tal y como se había adelantado, se dan ahora los métodos específicos para la determinación de cada especie junto con su respectiva norma de referencia.



Sulfuros (Standard Methods 4500 S2-F.)

Los sulfuros se determinan mediante una titulación del tipo de oxido-reducción con una solución de yodo, dado que este oxida el sulfuro en solución ácida. Como indicador de esta titulación se utiliza una solución de almidón, cuyo viraje es del incoloro al azul intenso al combinarse con un pequeño exceso de yodo libre.

Hay que tener en cuenta que esta técnica se aplica para concentraciones de sulfuro superiores a 1 mg / L si no hay interferencias y si se evita la pérdida de H₂S.

Oxígeno disuelto (Standard Methods 4500 O.)

Se agrega sulfato manganoso a la muestra. Luego se agrega una mezcla fuertemente básica de hidróxido de sodio y yoduro de potasio. Se forma un precipitado y luego se acidifica con ácido sulfúrico. El yodo se libera y titula con tiosulfato de sodio mediante

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 56 de 310		

un indicador de almidón. La cantidad de yodo liberado es químicamente equivalente al oxígeno presente en la muestra de agua.

Cloruros (Standard Methods 4500 Cl-B.)

El cloro liberará yodo libre de las soluciones de yoduro de potasio (KI) a pH 8 o menos. El yodo liberado se titula con una solución estándar de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) con almidón como indicador. Valorar a pH 3 a 4 porque la reacción no es estequiométrica a pH neutro debido a la oxidación parcial de tiosulfato a sulfato.



Es práctica común también valorar los cloruros de la muestra con soluciones de nitrato de plata utilizando cromato de potasio como indicador, cuyo punto final de titulación se alcanza con la aparición de un precipitado rojizo que corresponde al cromato de plata.

Sulfatos (ASTM D516 – 16)

Los sulfatos se determinan por un método turbidimétrico por formación de sulfato de bario: se añade una solución tampón y se mezcla la muestra con solución de cloruro de bario en un aparato de agitación. Una vez finalizado el período de agitación, se vierte la solución en la celda de absorción del fotómetro y se mide la turbidez o bien se la compara con estándares ya preparados. El método gravimétrico es más exacto y sensible pero también más laborioso, ya que implica que el precipitado de sulfato de bario se lo filtre, seque a 110°C y luego se lo calcine a 600°C . Finalmente el residuo obtenido se pesa y se determina la cantidad de sulfatos en la muestra.

Carbonatos y Bicarbonatos (Standard Methods 2320 B.)

Los carbonatos y bicarbonatos son los principales iones que contribuyen con la alcalinidad de la muestra. Estos iones se determinan por titulación con un ácido fuerte como lo es el ácido clorhídrico, aunque también en ocasiones se utiliza ácido sulfúrico. Para visualizar el punto final en la valoración de los carbonatos se utiliza fenolftaleína como indicador, cuyo viraje es a aproximadamente a pH 8,2. Luego la titulación continúa agregando un indicador como anaranjado de metilo o verde de bromo cresol para la valoración de los bicarbonatos hasta pH 4,2.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
Profesor: Spesot, Horacio		JTP: Krumrick, Ezequiel		Ayudante: Silva, Cristian		Página 57 de 310	

Calcio y Magnesio (Standard Methods 3500-Ca- Mg D.)

El calcio y el magnesio de una muestra se determinan por titulación complejométrica con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético o sus sales). Estos iones son los principales responsables de la dureza del agua. La titulación debe llevarse a cabo a un pH de 10 para la determinación de ambos cationes utilizando un indicador como el NET (negro de eriocromo T). Si luego se toma otra muestra y se la lleva a pH mayor a 12, se valora solamente el calcio con indicadores tipo el CALCON, dado que a tan altos pHs se logra la precipitación del magnesio como hidróxido de magnesio.

Dureza total (ASTM D 1126)

Una muestra se titula con EDTA a un pH de 10.0 +/- 0.1 utilizando negro de ericromo T, cuyo punto final es de rojo a azul. Esta determinación es idéntica a la valoración de los iones calcio y magnesio, solo que esta vez se determinan en conjunto y los resultados se expresan en ppm de carbonato de calcio (mg CaCO₃/ L).

Hierro total (Standard Methods 3500-Fe B)

El hierro se lleva a la solución, se reduce al estado ferroso hirviendo con ácido e hidroxilamina, y se trata con 1,10-fenantrolina a un pH de 3.2 a 3.3. Tres moléculas de fenantrolina quelatan cada átomo de hierro ferroso para formar un complejo naranja-rojo. La solución coloreada obedece a la ley de Beer; su intensidad es independiente del pH de 3 a 9. Un pH entre 2,9 y 3,5 asegura un rápido desarrollo del color en presencia de un exceso de fenantrolina. Los estándares de color son estables durante al menos 6 meses.

Bario y Potasio (Standard Methods 3111B.):

En la espectrometría de absorción atómica de llama, una muestra se aspira a una llama y se atomiza. Un haz de luz se dirige a través de la llama, hacia un monocromador y hacia un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
Profesor: Spesot, Horacio		JTP: Krumrick, Ezequiel		Ayudante: Silva, Cristian		Página 58 de 310	

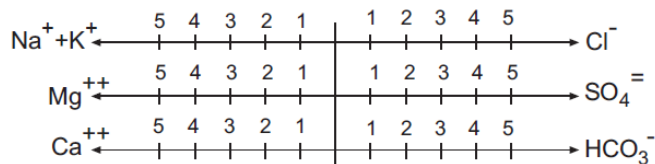
3.1.2.1.7.5 Presentación grafica de los resultados. Patrones de agua.

Con frecuencia, los análisis de agua se expresan en forma de gráfico. El diagrama, o patrón, resalta puntos importantes acerca del análisis y es también una forma fácil de identificar las diferencias en dos o más aguas.

Se utilizan diferentes diagramas de análisis del agua. Sin embargo, la API adoptó el método de Stiff, y es probablemente el método más utilizado en el campo petrolero.

En dicho método se utiliza normalmente un gráfico logarítmico de los miliequivalentes por litro de los iones, aunque también se utilizan gráficos lineales. Consiste básicamente en la gráfica de polígonos (uno para cada análisis) que normalmente se situarán sobre un mapa para mostrar la distribución geográfica de la composición de las aguas.

En su forma más sencilla, se forman tres ejes paralelos hacia la izquierda donde se diagraman los cationes, y otros tres hacia la derecha correspondientes a los aniones, como puede verse en el gráfico 13 con los iones más comúnmente encontrados en el agua.



La distancia entre los ejes horizontales es arbitraria y la escala elegida en horizontal depende de la salinidad de las aguas estudiadas. La longitud y escala se establecen a partir del análisis de concentraciones más elevadas.

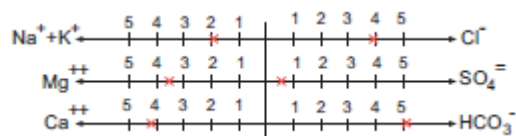
Se sitúan las concentraciones en cada uno de los seis ejes (en meq/L) y después se unen formando un polígono. Se toman a modo de ejemplo los valores mostrados en la tabla 9 para ser representados en las gráficas.

Tabla 3.3. Análisis de agua tomado como ejemplo.

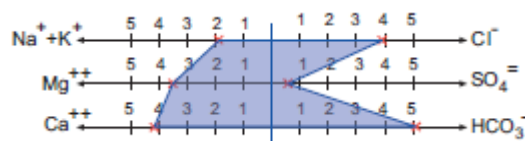
Ion	Concentración [meq/L]
Calcio (Ca ⁺⁺)	4,2
Magnesio (Mg ⁺⁺)	3,5
Sodio (Na ⁺) y Potasio (K ⁺)	1,9
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	5,1
Sulfato (SO ₄ ⁻)	0,6
Cloruro (Cl ⁻)	3,9

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 59 de 310	

Entonces, en cada eje se representan los valores en meq/L:



Luego se unen los puntos formando un polígono, a ambos lados del eje vertical central:



3.1.2.1.8 Análisis de hidrocarburos: Método EPA 502 E

La muestra se acidifica a un pH bajo (<2) y se extrae en serie con fluorocarbono-113 en un embudo de separación. Las interferencias se eliminan con adsorbente de gel de sílice. Los hidrocarburos permanecen en el freón y pueden determinarse por medio gravimétrico o infrarrojo.

- *Gravimétrico:* Método EPA 413.1

La fase de freón junto con los hidrocarburos se someten a calentamiento (70°C) y se evapora el freón. Finalmente se pesa el residuo y se determina la cantidad de hidrocarburos que había en la muestra. Una gran desventaja en este método es que es posible que algunos hidrocarburos se pierdan dada la evaporación.

- *Infrarrojo:* Método EPA 413.2

El extracto de freón se coloca en un espectrofotómetro infrarrojo y se mide la absorción infrarroja a una longitud de onda de 2,93cm⁻¹. Esta longitud de onda es característica de la unión carbono-hidrógeno. El contenido de petróleo de la muestra se determina por comparación directa con los estándares.

Los resultados que se obtienen con este método son generalmente considerados un reflejo más preciso del valor del contenido de hidrocarburos en el agua que los resultados obtenidos por gravimetría.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 60 de 310		

3.1.2.1.9 Análisis de sólidos

Las técnicas para determinar y caracterizar los sólidos no se tratan en la norma API RP 45.

Los sólidos en agua pueden ser de distinta naturaleza, por ello se clasifican primeramente en:

- Sólidos en suspensión.
- Sólidos disueltos y coloidales.
- Sólidos sedimentables.

Los que a su vez pueden ser tratados como sólidos totales, fijos o volátiles.

Debido a la importancia del control de estos sólidos en las operaciones de manipulación de agua, se presentan las técnicas utilizadas para determinar la cantidad y la naturaleza de cada uno de ellos.

Concentración de los sólidos:

- Sólidos en suspensión: Pueden tener naturaleza tanto orgánica como inorgánica. Por lo general, son partículas de óxidos metálicos, productos de la corrosión o sales inorgánicas, aunque también es común que sean sedimentos, arena, arcilla o cuerpos bacterianos. Corresponde justamente a aquellos sólidos de diámetro mayor a 2 μm que no sedimenta.
En la práctica se determinan haciendo pasar un volumen determinado de agua a través de un filtro de membrana (normalmente de 0,45 micrones). Luego se seca en una estufa a 105°C y el aumento de peso en el filtro corresponde a los sólidos en suspensión.
- Sólidos disueltos y coloidales: Los sólidos disueltos incluyen a todas las sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular, ionizada o en suspensión como coloides. En términos operativos se lo determina como aquellos sólidos de diámetro menor a 2 μm .
Corresponde al resto de los sólidos que queda sin ser retenido en el filtro, por lo que se lleva a secado el filtrado a 180°C. Para distinguir los sólidos coloidales de los disueltos, se agregan al filtrado coagulantes y floculantes.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 61 de 310	

- Sólidos sedimentables: Son aquellos sólidos que sedimentan bajo la acción de la gravedad. La determinación se realiza en un cono de Imhoff dejando la muestra de agua en reposo durante un tiempo prudencial (normalmente una hora). Pueden ser divididos a su vez, en sólidos sedimentables en 10 min y 2 hs, y se distinguen por su tamaño: aquellos de diámetro entre 2 μm y 10 μm sedimentan más lentamente que aquellos de diámetro mayor.
- Sólidos totales: materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103-105 °C. El valor de los sólidos totales incluye materias disueltas (sólidos disueltos totales) y no disuelto (sólidos suspendidos).
- Sólidos fijos: Son el residuo de los sólidos totales, disueltos o suspendidos, después de llevar una muestra a sequedad durante un tiempo determinado a 550°C (15 minutos).
- Sólidos volátiles: Diferencia entre sólidos totales y sólidos fijos.

3.1.2.1.10 Calidad de agua

La calidad de agua es una medida del grado relativo de taponamiento que ocurre cuando un volumen de agua se pasa a través de una membrana con un tamaño de poro determinado. El ensayo básico consiste en forzar el pasaje de un volumen de agua a través de un filtro membrana a una determinada presión.

El volumen acumulado que pasa por el filtro se registra en función del tiempo y de los datos se calcula el caudal para un intervalo de tiempo determinado. Luego se grafica el caudal versus el volumen acumulado en un gráfico semilogarítmico y la pendiente de la línea representa la calidad o grado de taponamiento para esa muestra de agua, cómo se ilustra en el gráfico 13. La pendiente es también una medida de la permeabilidad de la torta de filtración que se formó en la membrana. Cuanto más pronunciada sea la pendiente, la torta formada por los sólidos será menos permeable.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	
					Página 62 de 310

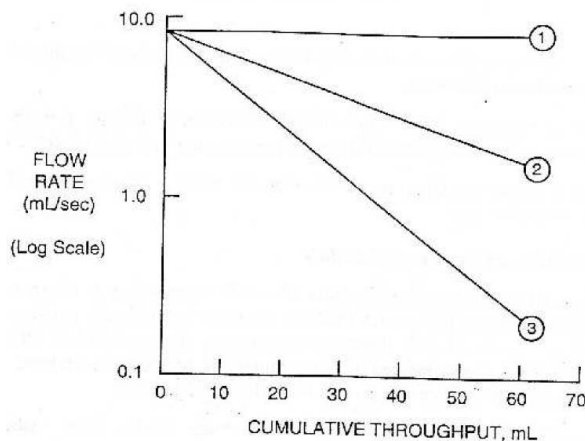


Gráfico 3.2. Curvas de calidad de agua.

Tabla 3.4. Interpretación de las curvas de calidad de agua del gráfico 3.2.

Curva	Calidad
1	Excelente. No ocurre taponamiento debido a que la velocidad del flujo permanece constante a través del ensayo.
2	De menor rendimiento que la Curva 1. La velocidad del flujo disminuye a medida que el volumen aumenta, indicando taponamiento del filtro.
3	Curva más pobre de las tres. La velocidad del flujo cae mucho más rápidamente indicando un taponamiento más rápido del filtro.

El punto importante a realizar acerca de la prueba de calidad del agua es que es una forma de comparar la tendencia relativa de diferentes aguas a obturar el filtro de membrana. No tiene necesariamente ninguna correlación con la tendencia de un agua a obturar la formación.

La utilidad de la prueba de calidad del agua consiste en su uso como una prueba comparativa.

- La prueba de calidad del agua puede usarse para detectar cambios en un agua en un punto determinado en un sistema a través de un periodo de tiempo.
- Las pruebas pueden realizarse en varios puntos en un sistema para detectar cambios que pueden estar ocurriendo entre la fuente de agua y los pozos de inyección.
- Se pueden comparar diferentes aguas.
- A través de la experiencia, se pueden establecer los estándares mínimos de calidad del agua para un área específica. La correlación cuidadosa de las medidas de calidad del agua con datos de inyectividad pueden ser muy útiles para determinar las condiciones de filtración.

Cualquier material insoluble en agua reducirá su calidad, como pueden ser productos de corrosión, incrustaciones, arcilla, sedimentos, aceites, químicos agregados durante el proceso de fractura, crecimiento de bacterias o algas.

Resulta evidente que la calidad necesaria se determinará en gran medida por la permeabilidad del reservorio. Las zonas con baja permeabilidad requerirán mejor agua

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 63 de 310		

que reservorios de alta permeabilidad. De hecho, lo que puede ser considerado de calidad aceptable en un área o zona, puede rápidamente ser un taponamiento en una formación diferente.

3.1.2.1.10.1 Medición de Pendiente de Cerini

En 1953, William F. Cerini propuso una nueva metodología para medir la pendiente de la curva de calidad de agua. A pesar que utilizó un disco de vidrio sinterizado en lugar de filtro membrana, aun se usa ampliamente su técnica de medición de la pendiente en trabajos de calidad de agua.

Los datos de calidad de agua se grafican normalmente en un eje semi-log de 2 ciclos. Se traza la línea recta que mejor aproxime a los puntos de datos y se mide la pendiente como si se tratara de un gráfico cartesiano lineal (*Grafico 3.3*)

Ambos componentes horizontal y vertical de la pendiente se miden con la misma escala lineal. El valor de la pendiente se calcula dividiendo el componente vertical (y) por la distancia horizontal (x). Debido a que la pendiente de la curva cae hacia la derecha, el valor de la pendiente es siempre negativo, y se llama comúnmente Pendiente de Cerini.

Los valores de la Pendiente de Cerini dependen tanto de la ordenada como de la abscisa utilizada. En consecuencia, los valores de pendiente solo pueden calcularse cuando se utiliza una escala fija.

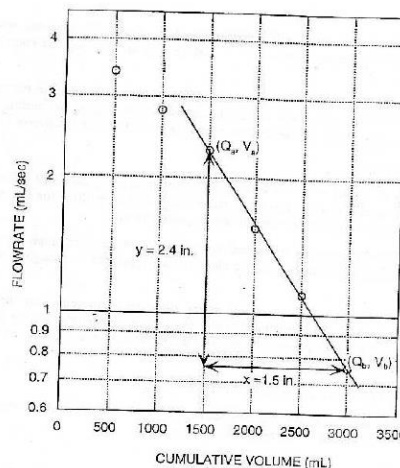




Gráfico 3.3. Medición de pendiente de Cerini.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 64 de 310		

3.1.2.1.10.2 Índice relativo de taponamiento

Amoco desarrolló un método de calificación de calidad de agua denominado *Índice Relativo de Taponamiento*.

$$RPI = TSS - MTSN$$

Donde:

TSS = Total Sólidos Suspendidos, ppm

MTSN = Millipore test slope number (número de pendiente ensayo Millipore).

El MTSN es la Pendiente Cerini de una curva convencional de calidad de agua.

3.1.2.1.10.3 Guía de calidad de agua

La guía de calidad de agua propuesta por Amoco para sus yacimientos se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 3.5. Guía de calidad de agua.


RPI	Evaluación de calidad general
<3	Excelente
3-10	Buena
10-15	Cuestionable
>15	Mala

Para el caso de la empresa YPF que como ya hemos dicho, será nuestro principal consumidor, requiere para en cada sistema de fractura una calidad de agua de buena a excelente, por lo cual, lógicamente es la calidad que se buscará con el proceso a plantear.

3.1.3 Determinaciones in situ

Ciertas propiedades del agua cambian rápidamente luego de que se toma la muestra, por lo que sus determinaciones deben ser tomadas in situ para obtener la máxima exactitud. Estas propiedades son:

- pH.
- Temperatura.
- Concentración de sólidos.
- Turbidez.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 65 de 310		

- Calidad de agua.
- Carbonatos.
- Bicarbonatos.
- Oxígeno disuelto.
- Dióxido de carbono disuelto.
- Total de sulfuros.
- Bacterias.

Ciertas propiedades pueden cambiar en minutos, otras permanecerán estables por varias horas, y otras permanecerán estables indefinidamente.

Por ejemplo, el pH comenzará a aumentar inmediatamente luego de la toma de muestra. Esto se debe al hecho que los gases ácidos disueltos comienzan a liberarse de la solución al momento que se toma la muestra debido a una reducción en la presión. Luego de un corto periodo, puede encontrarse poco o nada de sulfuros o dióxido de carbono en la muestra.



A su vez, el aumento del pH junto con el aumento de la temperatura puede tener como resultado la formación de incrustaciones de carbonato de calcio.

Los sólidos en suspensión deben recolectarse en el campo, con un filtro de membrana, permitiendo que un flujo de agua pase a través del filtro. El papel del filtro junto con los sólidos recolectados son llevados a un laboratorio para su análisis.

Los medios de cultivo deben inocularse en el campo inmediatamente después de la toma de la muestra ya que las bacterias pueden comenzar a multiplicarse dentro de pocas horas o bien, morir dependiendo de condiciones específicas.

Si la muestra contiene una elevada concentración de hierro disuelto, puede ocurrir la precipitación del mismo como hidróxido de hierro dada la exposición al oxígeno atmosférico.

Así, si la muestra fuera transportada al laboratorio y analizada luego de varios días, los análisis arrojarían un panorama distorsionado del agua con respecto al verdadero, debido a los cambios en la composición del agua que tuvieron lugar luego que la muestra se extrajera del sistema.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 66 de 310		

3.1.4 Características del agua de retorno

Ya se vieron y describieron los análisis realizados al agua de retorno, tanto las consideraciones para el muestreo, como así también los procedimientos detallados a seguir para cada una de las determinaciones con las respectivas normas utilizadas. Se muestran ahora, algunos resultados hallados en los análisis descriptos. Dicha información fue extraída desde diversas fuentes que corresponden a algunas de las compañías que realizan el proceso de fractura. Por lo cual, cabe destacar que las variantes en los parámetros mostrados se pueden deber a las diferentes características que posee cada pozo de extracción como así también a los distintos análisis fisicoquímicos utilizados para la obtención de dichos parámetros.

Tabla 3.6. Valores medidos en análisis fisicoquímicos realizados al fluido de fractura.

Parámetro	Valor medido
Temperatura [°C]	16,5
TDS [mg/l]	95.624,54
TSS [mg/l]	112,00
Turbidez [NTU]	0 – 5
pH	6 ,93
Hierro [mg/l]	82,5
Cloruros [mg/l]	59.000,00
Potasio [mg/l]	2.115,00
Calcio [mg/l]	4422,8
Magnesio [mg/l]	2.188,08
Sodio [mg/l]	20.023,56
Carbonatos [mg/l]	0,0
Hidrocarburos totales [%/v]	11
Dureza como CaCO ₃ [mg/l]	37.500,00
Bicarbonato [mg/l]	419,60
Sulfatos [mg/l]	340,00





 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 67 de 310	

Tabla 3.7. Valores medidos en análisis fisicoquímicos realizados al fluido de fractura.

Parámetro	Valor medido
Temperatura [°C]	18
TDS [mg/l]	113.809,85
TSS [mg/l]	710,00
pH	6,43
Hierro [mg/l]	302,00
Cloruros [mg/l]	69.000,00
Potasio [mg/l]	1.527,50
Calcio [mg/l]	3.807,60
Magnesio [mg/l]	1.094,04
Sodio [mg/l]	37.189,26
Carbonatos [mg/l]	0,00
Hidrocarburos totales [mg/l]	113.809,85
Dureza como CaCO ₃ [mg/l]	14.000,00
Bicarbonato [mg/l]	1.141,95
Bacterias [CFU/ml]	0
Sulfatos [mg/l]	0,0

Tabla 3.8. Valores medidos en análisis fisicoquímicos realizados al fluido de fractura.

Parámetro	Valor medido
Temperatura [°C]	22
Turbidez [NTU]	4.010
pH	7,53
Hierro [mg/l]	25,00
Cloruros [mg/l]	125.000,00
Boro [mg/l]	100,00
Carbonatos [mg/l]	0,0
Dureza como CaCO ₃ [mg/l]	180.000,00
Bicarbonato [mg/l]	3.050,0
Sulfatos [mg/l]	>1.200,0
Agentes reductores [mg/l]	> 0

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 68 de 310	

3.2 ESPECIFICACIONES DEL AGUA PARA PREPARAR FLUIDOS DE FRACTURA

La posibilidad de usar agua para un determinado fin está estrechamente asociada con su calidad. Muchas veces el agua es acondicionada de modo previo a su utilización a fin de alcanzar especificaciones determinadas.

El agua usada para preparar fluidos de fractura debe poseer características que permitan asegurar la compatibilidad con los aditivos químicos que se le agreguen. La funcionalidad de los químicos utilizados puede verse alterada según la calidad de agua utilizada. Cabe mencionar que la tolerancia a la calidad del agua requerida puede variar con los productos químicos utilizados, que dependen de cada empresa de servicios y/u operadora.

Los problemas más usuales encontrados son alargamiento de los tiempos de hidratación, ruptura prematura del gel, baja eficiencia de los surfactantes, pérdida de eficiencia de los reductores de fricción, degradación de los geles, tiempos de reticulado muy largos, entre otros. A continuación, en la *Tabla 3.9*, se muestran los parámetros que deben ser considerados junto con los valores recomendados para los mismos de manera de lograr la calidad de agua especificada.

Tabla 3.9. Especificaciones del agua para preparar los fluidos de fractura.

Parámetro	Rango o valor recomendado
Temperatura [°C]	15 – 40
TDS [mg/l]	< 50,000
TSS [mg/l]	< 50
Turbidez [NTU]	0 – 5
pH	6 – 8
Hierro [mg/l]	1 – 20
Cloruros [mg/l]	< 30,000
Potasio [mg/l]	100 – 500
Calcio [mg/l]	50 – 250
Magnesio [mg/l]	10 – 100
Sodio [mg/l]	2,000 – 5,000
Carbonatos [mg/l]	< 600
Dureza como CaCO₃ [mg/l]	<15,000
Bicarbonato [mg/l]	< 600
Bacterias [CFU/ml]	0
Sílice [mg/l]	< 35
Sulfatos [mg/l]	< 500

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 69 de 310		

3.3 INCONVENIENTES ASOCIADOS AL AGUA DE INYECCIÓN

A continuación, se detallan los inconvenientes que se asocian al agua de inyección durante el proceso de fractura, los cuales se ven magnificados si los parámetros ya nombrados no se mantienen bajo las especificaciones detalladas en la *Tabla 3.9*. De aquí deriva la importancia del control de dichos parámetros y el respectivo tratamiento del agua antes de la inyección.

3.3.1 Corrosión


Tal como se sabe, la corrosión provoca el deterioro de los materiales y si la misma no es controlada, puede llegar a producir la ruptura de los mismos. Por lo cual, es de suma importancia mantener los parámetros que provocan la corrosión controlados de manera de evitar la misma con el fin de extender el tiempo de vida útil de las instalaciones tanto de superficie como de subsuelo.

Se verá más adelante que los principales agentes promotores de la corrosión son las bacterias, los gases ácidos, dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno y oxígeno.

3.3.2 Formación de incrustaciones

Las incrustaciones se tratan de un conjunto de depósitos que se atascan en los orificios de las tuberías de producción, válvulas, bombas y demás equipos similares, de manera tal que obstruyen el hueco e impiden el flujo normal de los fluidos. Esto genera inconvenientes mayormente asociados al taponamiento de líneas de flujo, aumento en la pérdida de carga en las mismas y daños en la formación productora por disminución de la porosidad y permeabilidad. A largo plazo, además, puede producir el deterioro de los equipos y tuberías y el mantenimiento de los mismos incluyen métodos químicos y mecánicos de elevado costo. Los sitios más críticos respecto de la formación de incrustaciones son las restricciones de línea como válvulas, orificios, codos y cambios de diámetro interno de tuberías. Estas pueden inducir turbulencias locales y generar aumentos o caídas de presión. Por este mismo motivo suelen producirse incrustaciones en la formación frente a los punzados.

Los productos de la corrosión son la principal fuente de sólidos suspendidos que contribuyen con la formación de incrustaciones. Otro agente que aporta sólidos son las parafinas o hidrocarburos que solidifican cerca de la superficie que acompañan al agua de retorno.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 70 de 310		

Se identifican como incrustaciones habituales en instalaciones hidrocarburíferas las de carbonatos de calcio (CaCO_3), sulfato de calcio (CaSO_4), sulfato de bario (BaSO_4) y sulfato de estroncio (SrSO_4). En menor medida se observan incrustaciones de hierro como sulfuro de hierro (FeS) y óxido de hierro (Fe_2O_3); e incrustaciones de magnesio como carbonato de magnesio (MgCO_3) e hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).

3.3.3 Incompatibilidad de aguas

La mezcla de distintos tipos de agua con contenido salino, puede generar incrustaciones debido al fenómeno conocido como incompatibilidad de aguas. Las incrustaciones son compuestos inorgánicos, producto de la cristalización y precipitación de sales minerales previamente disueltas en agua. Estas ocurren por reacción química o como resultado de la sobresaturación de componentes en el agua, lo cual puede deberse a la mezcla de aguas incompatibles o a cambios en la temperatura, pH o presión.

3.4 INCONVENIENTES ASOCIADOS A CADA PARÁMETRO A TRATAR

En esta sección se detallan los inconvenientes asociados a cada parámetro a tratar. Dichos parámetros se saben que pueden ser distinta índole, entre las que se encuentran tanto propiedades físicas como químicas.

3.4.1 Propiedades físicas


3.4.1.1 Temperatura

La velocidad de corrosión se incrementa con el aumento de la temperatura acelerando las reacciones involucradas en ella.

3.4.1.2 Sólidos suspendidos y disueltos totales (TSS)

La tasa de incrustaciones y la velocidad de corrosión se agrava en gran medida cuando el contenido de sólidos aumenta.

Por otra parte, los sólidos suspendidos contenidos en el agua, dependiendo del diámetro, tipo y cantidad de partículas en suspensión generan el denominado taponamiento de la formación, cuya consecuencia es la reducción del caudal de inyección y el incremento de la presión de inyección.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 71 de 310		

Entre los factores que determinan la habilidad de los sólidos suspendidos para entrar en la formación incluyen: el tamaño y los canales del poro en la formación, la distribución del tamaño de los sólidos suspendidos y la tendencia de los sólidos a aglutinarse.

Los tipos y concentraciones de sólidos disueltos estarán ligados a la mayor o menor tendencia del agua a precipitar incrustaciones (carbonatos, sulfatos) en superficie, pozo o cara de la formación.

3.4.1.3 Turbidez

La turbidez es un parámetro indicador de que el agua contiene residuos insolubles como sólidos suspendidos y solubles, aceites dispersos o burbujas de gas.

3.4.1.4 Contenido de petróleo

Es la principal impureza del agua. Se denomina contenido de petróleo a la cantidad de petróleo disperso en dicha agua, el cual debe reducirse a valores mínimos debido a tres razones:

- ✓ Las bacterias utilizan como alimento a ciertos componentes del crudo.
- ✓ El petróleo es adsorbido por compuestos tales como sulfuros de hierro y otros depósitos que posteriormente resultan difíciles de eliminar con ácidos.
- ✓ El petróleo reduce la permeabilidad relativa al agua y bloquea espacios porales requiriendo de mayor presión para inyectar el mismo caudal.

3.4.1.5 Resistividad

La resistividad es una función del número de iones disueltos totales en el agua. La menor resistencia al paso de la corriente se traduce en una mayor concentración de iones disueltos.

3.4.2 Propiedades químicas

3.4.2.1 pH

El pH es la medida de acidez o alcalinidad del agua, y su rango va desde valores de 0 a 14, tal como se muestra en el *Gráfico 3.4*.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	
					Página 72 de 310

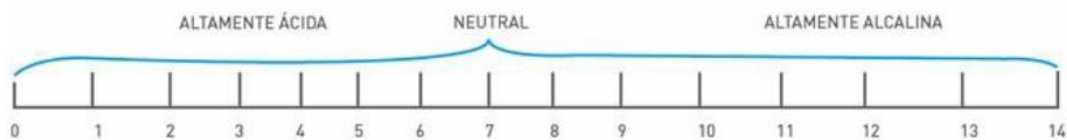


Gráfico 3.4. Escala de pH.

Sus valores son de suma importancia por diversas razones:

- pH menor a 8,2 indica solubilidad total del carbonato de calcio.
- pH debajo de 7 indica solubilidad total de los compuestos de hierro.
- pH superior a 8,3 mayor tendencia a la precipitación de carbonato de calcio.
- pH menores de 7 (las aguas se vuelven más ácidas), la tendencia a las incrustaciones decrece, pero aumenta la corrosión.

La presencia de ácido sulfhídrico (SH_2) y anhídrido carbónico (CO_2) provocan un descenso en el pH y vuelven las aguas más ácidas.

3.4.2.2 Oxígeno disuelto



Es de vital importancia el control de este parámetro pues trae múltiples inconvenientes asociados. En primer lugar, debido a su alto poder oxidante promueve la formación de óxidos (mayormente de hierro) y con ello el aumento de la corrosividad. Además, los sólidos insolubles formados, suelen precipitar formando incrustaciones. Por otra parte, el oxígeno facilita el crecimiento de las bacterias aeróbicas, las cuales general efectos corrosivos e incrustaciones.

3.4.2.3 Dióxido de Carbono disuelto y gaseoso

La presencia de este compuesto influye en varios aspectos por lo que también es muy importante mantener su concentración en un valor controlado. En primer lugar, afecta al pH como así también a la corrosividad y a la tendencia a formar incrustaciones como carbonatos.

3.4.2.4 Sulfuro de hidrogeno disuelto

Este gas es muy soluble en el agua y al solubilizarse actúa como un ácido muy débil que aumenta drásticamente la velocidad de corrosión. Por otra parte, también tiende a combinarse con el hierro (II), formando sulfuro ferroso que es muy insoluble y tiende a formar incrustaciones.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 73 de 310	

3.4.2.5 Aniones

3.4.2.5.1 Cloruros

Es el anión con mayor proporción presente en el agua de inyección. La fuente principal de cloruros es el NaCl. El principal problema asociado al cloruro es que la corrosividad del agua se incrementa con la salinidad. La concentración de cloruros es usada como referencia para la salinidad del agua:

- Agua dulce: 0- 2000 ppm.
- Agua salobre: 2000- 5000 ppm.
- Agua salada: 5000-40000 ppm.
- Salmuera: > 40000 ppm.

3.4.2.5.2 Sulfatos

Son un problema debido a su habilidad de reaccionar con el calcio, bario o estroncio para formar incrustaciones insolubles. Además, sirve como alimento para las bacterias sulfato reductoras.



3.4.2.5.3 Carbonatos y Bicarbonatos

Puede reaccionar con los iones de calcio, hierro, magnesio, bario y estroncio para formar incrustaciones insolubles. Adicionalmente es importante aclarar que los iones Carbonatos se encuentran raramente en agua producida debido a que el pH es usualmente muy bajo (<8,3).

3.4.2.6 Cationes

3.4.2.6.1 Sodio y Potasio

En general, son los cationes en mayor proporción en el agua de retorno. Sin embargo, no se los suele asociar a ningún inconveniente, a excepción de la precipitación con cloruros cuando hay un exceso de los mismo, lo cual ocurre rara vez.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 74 de 310		

3.4.2.6.2 Calcio

La remoción de estos iones es de suma importancia, ya que son quienes se combinan en mayor medida con aniones como los bicarbonatos, carbonatos y sulfatos, precipitando para formar incrustaciones o bien quedando como sólidos suspendidos.

3.4.2.6.3 Magnesio

Se lo asocia a inconvenientes similares al calcio, solo que en general el magnesio se encuentra en menor proporción, por lo cual sus consecuencias resultan menos severas.

3.4.2.6.4 Hierro

Está presente en iones Férrico (Fe^{+3}) o ferroso (Fe^{+2}) o como producto de precipitado o en suspensión (FeS y FeCO_3). La presencia de hierro es el principal promotor de los problemas por taponamiento de formación. Si existen ácidos presentes, es atacado por bacterias del hierro e indirectamente por bacterias sulfatoreductores, formadoras de ácido sulfhídrico y en consecuencia de sulfuro de hierro.



3.4.2.6.5 Bario

Su importancia radica la tendencia formar incrustaciones con los iones sulfatos, el cual por su carácter altamente insoluble y de gran adherencia son causantes de las caídas de producción drásticas por reducción del diámetro efectivo del tubing de producción y por taponamiento de la formación productora.

3.4.3 Propiedades biológicas

El desarrollo no controlado de microorganismos, bacterias, algas y hongos en los sistemas puede causar diferentes problemas entre los que se encuentran:

- ✓ Incrementos de frecuencias en fallas de corrosión en equipos de superficie y sub-superficie.
- ✓ Incremento en la concentración de H_2S y generación de aguas negras.
- ✓ Agriamiento de Reservorios.
- ✓ Incrustaciones de sulfuros metálicos en superficie y en el pozo.
- ✓ Dificultad en la deshidratación del petróleo, por estabilización de emulsiones.
- ✓ Taponamiento de filtros.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 75 de 310		

3.5 PARÁMETROS A REMOVER



Para el diseño del proceso de producción, se tomó como referencia en primer lugar, las especificaciones del agua para preparar fluidos de fractura brindadas por el IAPG, tal y como se muestran en la *Tabla 3.9*.

Por otra parte, se compararon los diferentes valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del agua de retorno, mostrados en la *Tabla 3.6*, *Tabla 3.7* y *Tabla 3.8*. De cada uno de estos parámetros, se tomó el valor más desfavorable, es decir, aquel que difería en mayor medida con la especificación. Este procedimiento se realizó de manera de considerar los casos más extremos que se pueden encontrar para asegurarnos que el proceso diseñado pueda cubrir la totalidad de los requerimientos.

En la tabla siguiente se muestran entonces estos valores mencionados, y, además, la cantidad que se debe modificar de cada parámetro, que representa la diferencia entre el valor medido para el agua de retorno y el valor especificado para la preparación de un nuevo fluido de fractura. Es en función de dicha diferencia que se diseña el proceso, comenzando con los tipos de tratamiento que se requieren, la secuencia para los mismos, los equipos utilizados para cada uno de ellos y el tamaño que deben tener estos equipos.

Tabla 3.10. Parámetros fisicoquímicos medidos, especificados y su diferencia.

Parámetro	Valor medido	Valor Especificado	Diferencia (cantidad a remover)
Total Sólidos Disueltos	113809,85	<50000	63809,85
Total Sólidos Suspendedos	710	<50	660
Hidrocarburos totales [%v/v]	15	0	15
Hierro [mg/L]	302	1-20	300
Calcio [mg/L]	4420	50-250	4375
Magnesio [mg/L]	2188	10-100	2180
Dureza como CaCO3 [mg/l]	37500	<15,000	22500
Bicarbonato [mg/l]	3050	<600	2450

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 76 de 310		

3.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

Para la descripción del proceso de tratamiento del agua de retorno, se tomarán las distintas etapas que corresponden a la remoción de los diferentes parámetros. La separación primaria de los fluidos que provienen del yacimiento se realiza con separadores de agua libre (FWKO) que es un recipiente cilíndrico horizontal o un Tanque Cortador. Ambos proporcionan un tiempo necesario para que el agua libre se separe de una emulsión. El proceso comienza cuando el agua de retorno es bombeada desde estos tanques a la unidad de tratamiento. La primera etapa de esta unidad tiene por objeto la eliminación de hidrocarburos, donde también se remueven algunos sólidos, que son eliminados finalmente en la segunda etapa. La siguiente etapa corresponde a la eliminación de los iones Hierro, Calcio y Magnesio. Finalmente, la última etapa la constituye una operación de filtración que tiene como fin asegurar la clarificación del agua.


Adicionalmente, se cuenta con una etapa de tratamiento y acondicionamiento de las sales que se obtienen como subproductos del proceso. Cada una de las etapas nombradas es detallada a continuación.

3.6.1 Etapa N°1: Remoción de hidrocarburos

El agua de retorno que es separada en el Tanque cortador en la Planta de Tratamiento de Crudo, se encuentra inicialmente almacenada en un tanque pulmón (TK 100). El proceso de tratamiento de agua de retorno comienza cuando la misma es bombeada desde este tanque pulmón hacia el denominado Tanque Skimmer (TK 101). El objetivo de esta unidad es separar la corriente de entrada en tres corrientes de salida: los restos de hidrocarburos por la parte superior, la línea de agua tratada y los fondos o purgas con los sólidos más pesados.

El agua a tratar es alimentada al Tanque Skimmer por uno de sus laterales a través de un canal distribuidor, que separa la corriente de entrada en cuatro líneas de igual magnitud. Cada una de estas líneas descarga el agua justo por debajo de los platos o sombreros que están provistos para distribuir el agua uniformemente a través de la totalidad del área del tanque.

A medida que la mezcla de agua, petróleo y sólidos asciende a través del tanque, dichos componentes se separan debido a su diferencia de densidad. Los sólidos más pesados, decantan rápidamente en el fondo del tanque y son extraídos del mismo a través de las operaciones de purgado. Por el contrario, el crudo a medida que se separa del agua,

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 77 de 310		

forma un colchón en la parte superior y se extrae mediante una canaleta de rebalse. El agua por su parte, se retira por la parte inferior del tanque para seguir su curso hacia la siguiente etapa de tratamiento.


3.6.2 Etapa N°2: Remoción de partículas sólidas

La eliminación de los sólidos remanentes de la etapa anterior como así también los restos de hidrocarburos que pudieran aún permanecer se eliminan en esta etapa con una operación de flotación. El proceso de flotación consiste en remover los sólidos y aceites por medio de la inyección de gas natural, pues a través de la inyección de burbujas muy finas se reduce la densidad relativa de los aceites y sólidos contenidos en el agua para promover su flotación y posterior remoción en la celda.

Esta etapa comienza con la generación de burbujas de gas en el agua a tratar a través de un sistema denominado flotación por gas inducido (IGF), el cual consiste en inyectar mecánicamente el gas a través de un inyector directamente sobre cada una de las cuatro celdas que constituye el equipo de flotación. Este inyector se trata de un rotor o impulsor mecánico que, por su alta velocidad de rotación, genera las burbujas de un tamaño necesario (1000 micras de diámetro). Una vez generada las burbujas, se produce el contacto de las mismas con las partículas sólidas y de hidrocarburos remanentes, lo cual provoca la adherencia de ellas y una posterior migración hacia la superficie (flotación). Finalmente, el material flotante es removido por paletas hacia los bolsillos de contención que se encuentran en los laterales del equipo y el agua libre de sólidos e hidrocarburos continua con la siguiente etapa.

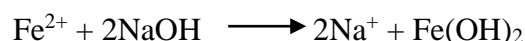
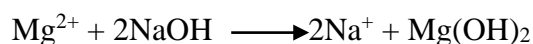
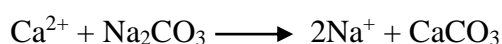
3.6.3 Etapa N°3: Remoción de Hierro, Calcio y Magnesio

Los cationes de Hierro, Calcio y Magnesio se eliminan fácilmente formando sales insolubles de los mismos. Esta operación ocurre en un tanque reactor agitado de mezcla perfecta que opera en condiciones ambientales, al cual se alimenta el agua a tratar junto a soluciones de Carbonato e Hidróxido de Sodio. Dicha unidad cuenta con un agitador que opera de forma mecánica para favorecer el mezclado. Al producirse la mezcla, se forman rápidamente sales insolubles de Carbonato de Calcio e Hidróxidos de Magnesio y Hierro. Parte de estos sólidos insolubles formados, precipitan en el reactor y se acumulan en el fondo del mismo hasta las operaciones de purgado donde son retirados. Otros sólidos, permanecen suspendidos en el agua y siguen su curso hacia la centrifuga. En esta unidad de tratamiento, la mezcla gira a tan altas velocidades que se produce la separación de la misma por acción de la fuerza centrífuga. Los sólidos son recolectados

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 78 de 310		

mediante sacos o bolsas colocadas en los laterales del equipo provistas para tal fin, mientras que el agua se retira a través de la parte frontal del equipo para seguir hacia la posterior etapa de tratamiento.

Las reacciones que ocurren en el reactor se muestran a continuación.



3.6.4 Etapa N°4: Clarificación final


La clarificación final del agua se hace a través de un sistema de filtros que consta de dos filtros conectados en paralelo en cuyo interior poseen un manto filtrante de antracita con diversa granulometría. El fin de este sistema es que a medida que el agua pasa a través de cada filtro, las partículas sólidas son retenidas por el medio filtrante, que al ser de tamaño de granos cada vez más finos, las partículas retenidas son también cada vez más pequeñas, resultando un agua prácticamente libre de partículas sólidas.

Cada filtro se alimenta por su parte inferior, teniendo un flujo ascendente de agua que a medida que pasa por el medio filtrante va depositando los sólidos en el mismo, saliendo por la parte superior del equipo.

Cuando un filtro se satura y ya no es capaz de continuar con la operación de filtrado, se somete a una operación de limpieza de manera de remover las partículas sólidas depositadas en el medio filtrante. Estas operaciones de limpieza se realizan con una corriente de agua limpia proveniente del tanque de agua tratada que circula de forma descendente a través del filtro, por lo que la misma es alimentada por la parte superior del equipo y retirada junto con los sólidos removidos por la parte inferior.

3.6.5 Etapa N°5: Secado de sales

Respecto a las sales obtenidas en la etapa de eliminación de cationes Hierro, Calcio y Magnesio, estas son removidas y enviadas hacia un secadero donde se les elimina la humedad para su posterior venta. El proceso de secado de las mismas se lleva a cabo en un secador rotatorio donde intercambian calor con aire caliente de manera indirecta. Para el calentamiento del aire, dicho secadero está provisto de una cámara de combustión, donde se quema gas para tal fin.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 79 de 310	

3.6.6 Tratamientos químicos

Los productos químicos agregados durante el proceso de tratamiento de agua tienen la finalidad de favorecer los procesos físicos realizados en el mismo, tales como, la flotación, sedimentación y filtración, de manera de hacer estos lo más eficientes posible. Por otra parte, otros productos de acción química se incorporan en el proceso con el objetivo de preservar la integridad de las instalaciones de la planta, evitando o inhibiendo la aparición de problemas de corrosión, incrustaciones, depósitos de sólidos, entre otros, que como se sabe, además de disminuir el rendimiento del proceso, también conllevan a aumentar considerablemente los costos por la pérdida de eficacia, paradas no programadas, así como costos de capital por mantenimiento o reemplazo de instalaciones.



El fin de este apartado, es realizar una descripción de los diferentes productos químicos utilizados en el proceso, definiendo su naturaleza, función, dosificación y etapa del proceso en la que son agregados.

3.6.6.1 **Desenmulsionantes inversos**

Los desenmulsionantes inversos, también denominados rompedores de emulsión inversa, se emplean para remover gotas de petróleo del agua. Estas sustancias presentan la característica de ser anfifílicas, es decir una parte de la molécula es hidrofílica o soluble en agua y la otra es lipofílica, hidrofóbica o soluble en aceite, lo cual les permite estabilizar las emulsiones por migración a la interfase aceite-agua y formar una película interfacial alrededor de las gotas, sus moléculas se alinean en la interfase polar hidrofílica en la fase acuosa y en la no polar hidrofóbica en la fase aceite. Esta película estabiliza la emulsión debido a las siguientes causas:

- Reduce las fuerzas de tensión superficial que se requiere para la coalescencia de las gotas.
- Forman una barrera viscosa que inhibe la coalescencia de las gotas.

Algunas sustancias empleadas para tal fin son bases químicas como las poliamidas y compuestos poliamínicos de amonio cuaternario, los cuales son solubles en agua y facilitan la asociación de las gotas de petróleo disperso y su posterior flotación. Lógicamente entonces, estos productos químicos son añadidos al proceso en la primera etapa de tratamiento, donde son removidos los hidrocarburos, en la entrada de alimentación al tanque Skimmer.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 80 de 310		

3.6.6.2 Coagulantes y floculantes

Estos productos se agregan en conjunto al agua con la finalidad de incrementar la densidad de las partículas a través del incremento de la masa de las mismas, formando un floc o flóculo de tal forma de incrementar su velocidad de separación.

Los sólidos presentes en el agua como se mencionó anteriormente, tienen diferentes orígenes y por ende diversos tamaños de partícula, pero todos ellos poseen por lo general una carga parcial neta negativa. Los *coagulantes*, aprovechan esta característica entregando una carga positiva a la partícula en suspensión, desestabilizando las mismas, para promover un puente entre las partículas y neutralizarlas.

El proceso de coagulación puede verse afectado por diversos factores, entre los que se pueden nombrar los siguientes:

a) *pH*



El pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado. Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio del producto químico. Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran:

- Cal viva.
- Cal apagada.
- Carbonato sódico.
- Soda Cáustica.
- Ácidos minerales.

b) *Agitación rápida de la mezcla*

Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo.

Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 81 de 310		

c) *Tipo y cantidad de coagulante.*

Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro. Los flóculos formados por las sales de hierro son más densos y sedimentan más rápidamente a través de un amplio rango de pH, mientras que los compuestos de aluminio son adecuados para aguas que contienen material orgánico.

A continuación, se enlistan los coagulantes más comúnmente utilizados junto con las condiciones óptimas para su uso.

- Sulfato de aluminio (también conocido como sulfato de alúmina, $Al_2(SO_4)_3$): El rango de pH para la coagulación óptima se encuentra entre 5 y 7,5, siendo la dosis recomendada de 100 a 300 g/m³. Este coagulante se suele utilizar junto con un coadyuvante como puede ser la cal (en una dosis de un tercio de la dosis de sulfato de alúmina) o carbonato de sodio (con una alimentación del 50-100% de la cantidad de coagulante).
- Sulfato ferroso ($FeSO_4$): El pH recomendado para la coagulación óptima es alrededor de 9,5. Se necesitan de 200 a 400 g/m³ de reactivo comercial $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ y como coadyuvante adicional se lo suele utilizar con cal, en una dosis del 25% de la dosis de sulfato ferroso.
- Sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$): El rango de pH para la coagulación óptima se encuentra entre 4 y 7, y mayor de 9. La dosis recomendada varía de 10 a 150 g/m³ de reactivo comercial $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ con una dosis de cal del 50% de la dosis de sulfato férrico.
- Cloruro férrico ($FeCl_3$): El rango de pH para la coagulación óptima varía entre 4 y 6, y mayor de 8. Dosis: de 5 a 160 g/m³ de reactivo comercial $FeCl_3 \cdot 6H_2O$.

Por otra parte, los *floculantes* se agregan con la finalidad de provocar la aglomeración de partículas desestabilizadas por el coagulante llevando a la formación del flóculo manteniéndolo estable y permitiendo su posterior separación.

Hay diversos factores que influyen en la floculación entre los que se encuentran:

- a) *Coagulación previa lo más efectiva posible.*
- b) *Agitación lenta y homogénea.*

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 82 de 310		

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no es recomendado dado que rompería los flóculos ya formados.

c) *Temperatura*

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos. Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

d) *Características del agua*

Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

e) *Tipos de floculantes*

Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:

- **Minerales:** por ejemplo, la sílice activada. Aumenta el tamaño y densidad de los flóculos, disminuyendo el tiempo requerido para su formación. Se obtiene una sedimentación más rápida y agua más límpida.
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña.

Los de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan polielectrolitos. Estos polielectrolitos son polímeros productores de iones que pueden dar una molécula que tiene carga eléctrica en toda su longitud. Forman flóculos densos y grandes que se depositan rápidamente reduciendo los tiempos de floculación.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 83 de 310		

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- Polielectrolitos no iónicos: son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- Polielectrolitos aniónicos: Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- Polielectrolitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

En general, la acción de los polielectrolitos puede dividirse en tres categorías:

- 1) En la primera, los polielectrolitos actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas. Puesto que las partículas del agua están cargadas negativamente, se utilizan a tal fin los polielectrolitos catiónicos.
- 2) La segunda forma de acción de los polielectrolitos es la formación de puentes entre las partículas. El puente se forma entre las partículas que son adsorbidas por un mismo polímero, las cuales se entrelazan entre sí provocando su crecimiento.
- 3) La tercera forma de actuar se clasifica como una acción de coagulación formación de puentes, que resulta al utilizar polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular. Además de disminuir la carga, estos polielectrolitos formarán también puentes entre las partículas.

Estos tratamientos químicos se llevan a cabo normalmente con el agregado de sales de hierro como coagulantes, coadyudadas con cal y sílice activada como floculante. Sin embargo, también es posible la utilización de polielectrolitos catiónicos, los cuales pueden actuar como coagulantes por su carga positiva y como floculantes por su estructura molecular. Estos últimos, presentan la ventaja de producir un menos volumen de fangos.

Cualquiera sea la opción escogida, estos productos son agregados en la segunda etapa del proceso, previo ingreso a la celda de flotación y también en la etapa de clasificación final, previo ingreso a los filtros.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 84 de 310		

3.6.6.3 Biocidas

Los biocidas son agentes químicos encargados de controlar el crecimiento bacteriano, especialmente el crecimiento de las BSR (Bacterias Sulfato Reductoras), las cuales promueven la corrosión microbacteriana (MIC) y sólidos muy finos químicamente identificados como sulfuro de Hierro (FeS), causante del taponamiento de líneas y equipos.

Los biocidas se pueden clasificar en dos grupos: oxidantes y no oxidantes.

- Los *biocidas oxidantes* son agentes capaces de oxidar la materia orgánica, por ejemplo, el material de la célula, enzimas o proteínas que se asocian a las poblaciones microbiológicas dando como resultado la muerte de los microorganismos. Las ventajas de este tipo de biocidas son que pueden ser analizados fácilmente en la propia instalación y tienen bajo costo. Sin embargo, presentan algunas limitaciones dado que pueden resultar muy corrosivos y poco estables, y su actividad depende fuertemente del pH.

Algunos ejemplos de estos biocidas son:

- Derivados del cloro: Hipoclorito de sodio, Hipoclorito de calcio, Dióxido de cloro, Ácidos di o tri cloroisocianúricos y Bromoclorodimetilhidantoína.
- Derivados del bromo: Bromuro de sodio, Hipobromito de sodio y Cloruro de Bromo.
- Otros: Ozono y peróxidos o peracéticos.
- Los *biocidas no oxidantes* funcionan por mecanismos distintos a la oxidación, incluyendo la interferencia con el metabolismo y la estructura de la célula. Estos diferentes mecanismos pueden actuar de la siguiente manera:

- 1) Destruyendo la pared celular.
- 2) Impidiendo la respiración celular.
- 3) Impidiendo su reproducción.

Los biocidas no oxidantes son generalmente más estables y más duraderos que los biocidas oxidantes en el agua. Sin embargo, su concentración se reduce a través de las pérdidas de agua del sistema y por la degradación de los principios activos. Los biocidas no oxidantes no son corrosivos, en su gran mayoría. Un programa de tratamiento con biocidas no oxidantes puede reforzarse utilizando dos biocidas en

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 85 de 310		

alternancia o simultáneamente. En general, son compatibles con el cloro y se obtiene un gran efecto sinérgico en algunas aplicaciones concretas.

Algunos ejemplos de estos biocidas son:

- Amonios cuaternarios.
- Poliamonios cuaternarios.
- Fosfonios cuaternarios.
- Isotiazolonas
- Compuestos organobromados.
- Aldehídos.
- Compuestos órgano azufrados.
- Iones metálicos.
- Clorhidratos de biguanidina.

Estos últimos tipos de biocidas son los escogidos para utilizar dentro de la planta dado que no aportan oxígeno al sistema, agente considerado altamente corrosivo para las instalaciones e incluso puede resultar peligroso dada la formación de una atmosfera explosiva por la presencia de hidrocarburos.

Los biocidas son añadidos en múltiples etapas del proceso, siendo la mayor dosis de los mismos, en la primera etapa al ingreso al sistema. También son agregados previo ingreso a los filtros.

3.6.6.4 Inhibidores de Corrosión

Los inhibidores de corrosión son productos químicos que se encuentran preparados disponibles en el mercado, cuya función es controlar la corrosión actuando a través de dos mecanismos que son:

- 1) Formando una película protectora o fílmica, es decir promoviendo un químico adherente sobre la superficie del metal que permite protegerla de la corrosión por fluidos corrosivos. Bases químicas con propiedades fílmicas son los grupos amino (-NH₂), la cual se fija por polaridad bajo el mecanismo de quimisorción al metal y el resto de la cadena hidrocarbonada, ubicada al otro extremo, se vuelve hidrofóbica aislando de esa manera la superficie del metal.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 86 de 310	

2) Generando la neutralización del fluido corrosivo: Los gases ácidos corrosivos como el H₂S y el CO₂ presentes en el agua son controlados a través de la neutralización de los mismos a través de aminas neutralizantes aprovechando sus propiedades de basicidad y solubilidad en el agua.

De manera similar a los biocidas, los inhibidores de corrosión son añadidos tanto al ingreso del sistema como a la entrada de los filtros.



3.6.6.5 Secuestrantes de Oxígeno

El oxígeno es considerado un agente altamente perjudicial para las instalaciones dado que contribuye fuertemente a la corrosión, provocando el denominado “Pitting” o corrosión por oxígeno, que se caracteriza por la aparición de manchas o picaduras de óxido en las paredes de las instalaciones. Afortunadamente, existen sustancias capaces de prevenir este proceso, consumiendo el oxígeno disuelto en el agua y son llamadas precisamente, secuestrantes de oxígeno.

Los secuestrantes de oxígeno más usualmente utilizados en la industria son enlistados a continuación junto con una breve descripción de su naturaleza y condiciones de uso.



- **Sulfito sódico:** Reacciona con el oxígeno formando sulfato de sodio. La formación de sulfato de sodio aumenta sólidos disueltos y a presiones altas (> 50 bar) se descompone en dióxido de azufre. La velocidad de reacción entre sulfito sódico y oxígeno es rápida. Sin embargo, a temperaturas bajas es necesario utilizar trazas de sulfato de cobalto para acelerar la reacción (catalizador). Para presiones mayores a 80 psi no es recomendable el sulfito sódico. El sulfito sódico catalizado (con sulfato de cobalto) reacciona mucho más rápido que el no catalizado y es recomendable dosificarlo por separado en el depósito del desgasificador. La proporción estequiometría a añadir es de 7,88 ppm de sulfito sódico por cada 1 ppm de oxígeno, pero es mejor utilizar la proporción 10:1.

- **Hidracina:** Sustituyó al sulfito en sistemas de alta presión. La ventaja principal es que no incrementa sólidos, pero su uso está limitado por su elevada toxicidad y como tal requiere de una manipulación especial. La hidracina (al 35%) se alimenta directamente al agua de alimentación a razón de 0,05 – 0,10 ppm. A temperaturas inferiores a 150°C la reacción es muy lenta, el uso de hidroquinona como catalizador aumenta la velocidad de la reacción 10 – 100 veces. A temperaturas superiores a 400°C

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 87 de 310		

la hidracina se comienza a descomponer en amoníaco, que es corrosivo para el cobre y otras aleaciones.

- Carbohidracina:** Es el sustituto de la hidracina y actúa igual que ésta, pero no tiene los peligros relativos a la misma. Al igual que la hidracina, no aumenta el contenido de sólidos, pero presenta el inconveniente que la reacción con el oxígeno genera 0,7 ppm de dióxido de carbono por cada ppm de oxígeno, lo cual se debe tener en cuenta en el cálculo de necesidades de amina neutralizante (secuestrantes de dióxido de carbono). La estequiometría a utilizar es de 1,4 ppm de carbohidracina por cada ppm de oxígeno disuelto, y se dosifica directamente al sistema en forma de solución 6.5%. La dosis recomendada en el agua de alimentación es la suficiente para controlar 0,05 - 0,3 ppm como hidracina, ya que se de en esta en el interior de la caldera.
- N,N'-dietilhidroxilamina (DEHA):** Es un desoxigenante volátil, pasiva las superficies metálicas de los equipos y las tuberías. Es un fuerte reductor capaz de revertir el rojizo óxido férrico a magnetita manteniendo residuales entre 150 y 300 ppb. Catalizado con hidroquinona actúa a bajas temperaturas. La estequiometría es de 1,24 ppm de DEHA por cada 1 ppm de oxígeno disuelto, pero se obtienen mejores resultados con una relación 3:1. En su reacción con el oxígeno se forma ácido acético e incluso se puede descomponer en dióxido de carbono, lo cual requiere un consumo adicional de amina neutralizante. Se descompone en amoníaco a partir de 280°C frente a 168°C para la hidracina. El análisis de la DEHA se realiza mediante un kit basado en la reducción del ión férrico a ferroso.
- Metiletilcetona (MEKO):** Es un reductor del oxígeno disuelto que tiene una acción similar a la DEHA y reacciona más rápidamente que cualquier otro sustituto del sulfito sódico. Se necesitan 5,4 ppm de MEKO por cada ppm de oxígeno disuelto. El MEKO no tiene las mismas capacidades pasivadoras que la DEHA, así que su uso no está tan aconsejado.
- Hidroquinona:** Tiene rápida velocidad de reacción, incluso en agua fría. Se puede utilizar sola como desoxigenante. Es usada habitualmente como catalizador para la Hidracina, DEHA, y Carbohidraxida, incluso para usos a baja presión. La Hidroquinona es estable hasta 275° C, la descomposición final genera dióxido de carbono. La estequiometría requerida es de 6,9 ppm de hidroquinona por cada 1 ppm oxígeno.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 88 de 310	

De los secuestrantes de oxígeno detallados, se escoge el sulfito de sodio dado que es el producto que más se adapta a las condiciones de proceso, que son presiones cercanas a la atmosférica y temperatura ambiente. Se puede optar por la opción de catalizar su acción con el uso de sulfato de cobalto para asegurarse una eliminación de oxígeno efectiva. Este producto se agrega en el proceso durante la primera etapa, dado que es crucial su eliminación tanto para evitar la corrosión como para prevenir la formación de una posible atmosfera explosiva.



3.6.6.6 Inhibidores de Incrustación

Se ha visto con anterioridad, que las principales incrustaciones son provenientes de sales a base de sulfatos, fosfatos y carbonatos, combinados con cationes de calcio, magnesio, bario, entre otros. Debido a que las incrustaciones se forman a partir de la sobresaturación del medio, producto de una incompatibilidad de aguas, los inhibidores de incrustación cumplen la función de:

- Retardar o bloquear el proceso de nucleación (formación de cristales).
- Modificar la forma y estructura de los cristales.
- Prevenir los mecanismos de adherencia de los precipitados a una superficie y permitir su libre tránsito a través de las líneas de flujo.
- Modifican las características de los iones incrustantes, incrementando las fuerzas de repulsión entre cristales aglomerados.

En cuanto a las bases químicas relacionadas a los inhibidores de incrustación, los más comercializados son en base al ión fosfonio es decir fosfatos, polifosfatos y fosfonatos. Así mismo, antiguamente se utilizaban bases químicas relativas a los policarbonatos y polimaleatos (Polielectrolitos en base a los ácidos acrílicos y maleicos) que se han abandonado debido a sus dificultades para su monitoreo y control.

Al igual que otros químicos, este producto puede ser agregado en múltiples etapas, tanto en la primera, como también al ingreso al reactor y a los filtros.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 89 de 310		

3.6.6.7 Surfactantes

Un surfactante también denominado tensioactivo, es un agente capaz de reducir la tensión superficial e interfacial por lo que se incorpora para mejorar la mojabilidad entre distintas fases. Estas sustancias están constituidas por moléculas anfifílicas, que, como se ha explicado con anterioridad poseen una parte hidrofóbica que disuelve las sustancias no polares como el petróleo y el resto hidrofílico que le permite solubilizarse en el agua. Las estructuras formadas por una partícula no polar, rodeada por las partes hidrófobas y las partes hidrofílicas orientadas hacia afuera de la misma, se denomina micela. En función de su mayor o menor dispersión en agua, y su mayor o menor estabilización de las micelas o coloides, los tensioactivos se emplean como emulsionantes, humectantes, detergentes o solubilizantes.

Por supuesto existen diferentes clases de sustancias con las características descritas, por lo que la clasificación se fundamenta en el poder de disociación del tensoactivo en presencia de un electrolito y de sus propiedades fisicoquímicas. Pueden ser: iónicos o no-iónicos; y dentro de los iónicos según la carga que posea la parte que presenta la actividad de superficie serán: aniónicos, catiónicos y anfóteros.

- Tensioactivos no-iónicos: son tensioactivos que no contienen grupos funcionales disociables (ionizables) y, por lo tanto, no se disocian en el agua en iones. La parte no polar es principalmente una cadena alifática (de entre C12-C18), aunque hay tensioactivos no iónicos no alifáticos. Los grupos polares suelen ser un grupo alcohol o éter.
- Tensioactivos iónicos: Son tensioactivos con fuerte afinidad por el agua, motivada por su atracción electrostática hacia los dipolos del agua.
 - *Tensioactivos aniónico*: La parte hidrofílica de la molécula del tensioactivo posee una carga negativa. Ésta suele tratarse de un grupo carboxilato, sulfato, sulfonato o fosfato.
 - *Tensioactivos catiónico*: la parte hidrofílica de estos tensioactivos posee una carga positiva. Estos tensoactivos suelen tener una alta adherencia en diferentes sustratos y un alta "persistencia" en esa adhesión. Un hecho experimental que caracteriza a estos compuestos es que cambia las propiedades superficiales y convierte una superficie hidrofílica en hidrofóbica y viceversa.
 - *Tensioactivos anfóteros*: son tensoactivos que poseen tanto un grupo catiónico como un grupo aniónico, por lo que, dependiendo del pH del medio, puede

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 90 de 310		

exhibir uno u otro comportamiento, mostrando una estructura zwitteriónica a un pH intermedio (punto isoeléctrico).

Dentro de la clasificación descripta, los surfactantes mayormente empleados son los de tipo aniónico, siendo algunas bases comunes el alquilaril sulfonato y los alquifenoles etoxilados. Estos productos son normalmente añadidos junto con los desmenuzantes en la alimentación al tanque Skimmer.



3.6.6.8 Secuestrantes de dióxido de carbono

Se han detallado con anterioridad los inconvenientes asociados al dióxido de carbono, dado este afecta directamente al valor del pH y con ello también a la corrosividad y la tendencia a formar incrustaciones, como suelen ser las de carbonato. De aquí, deriva la importancia de tener la concentración de este compuesto en un valor controlado. Para ello, existen productos químicos denominados, secuestrantes, que son aminas neutralizantes que mantienen un valor de pH entre 8,3 y 8,5, ya que reaccionan con dióxido de carbono disuelto, formando carbonatos.

3.6.6.9 Secuestrantes de Sulfuro de hidrogeno



Los inconvenientes asociados con este gas son muy similares a los vistos para el dióxido de carbono, dado que es muy soluble en el agua y al solubilizarse actúa como un ácido muy débil que aumenta drásticamente la velocidad de corrosión. Por otra parte, también tiende a formar incrustaciones.

Entre los productos químicos más utilizados para la eliminación de sulfuro de hidrogeno, se encuentran aquellos a base de triazina. Las triazinas se obtienen a partir de monoetanolamina (MEA) o metilamina (MA), y son los compuestos que reaccionan más eficientemente en fase líquida y son particularmente útiles si es crítica la reducción inmediata de sulfuro de hidrogeno.

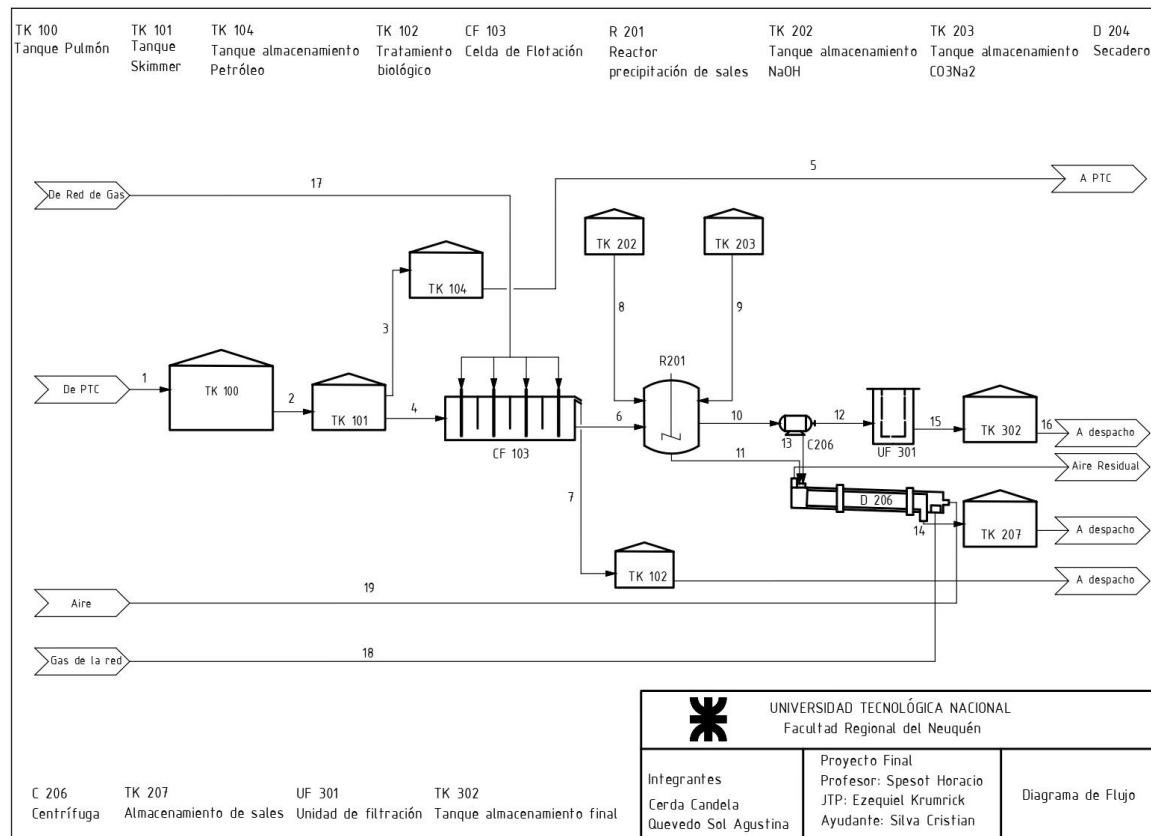
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 91 de 310		



3.7 BIBLIOGRAFÍA

- Agurto Sánchez, E.A.(2012). *Mejoras en el tratamiento de agua de inyección para campos maduros de petróleo usando microburbujas de gas natural*. Universidad Nacional de Perú. Lima, Peru.
- *Documento N°4: Uso Skimmers*. (2005). Gobierno de Canarias. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación territorial.
- Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (2013). *Gestión del Agua en la exploración y explotación de Reservorios No Convencionales en el Área de influencia de la Cuenca Neuquina*. Buenos Aires.
- Orellana J.A. (2005). *Unidad temática N°6: Tratamiento de las aguas*. Ingeniería Sanitaria. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rosario. Argentina.
- Ottulich, M. García, F y Grande, R. (2010) La producción de petróleo en yacimientos o convencionales. Salta.
- Patton, P. *Applied Water Technology*. Dallas, Texas.
- Prieto, D; Puente, S. (2016). *Gestión hídrica en explotaciones hidrocarburíferas no convencionales*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- Rodríguez Huerta, I. S. *Tecnologías para el manejo y tratamiento del flowback en pozos del shale gas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- *Tratamiento de agua producida*. (2016). FLAMES: a family of oil and gas solution.
- Trombetta, J.C. (2012). *El agua en la explotación de yacimientos no convencionales*. Revista Petrotecnia.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 92 de 310	


4 DIAGRAMA DE FLUJO



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 93 de 310		

4.1 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

Equipo	Codificación
Tanque de agua a tratar	TK 100
Tanque Skimmer	TK 101
Tanques residuos sólidos	TK 102
Celda de flotación	CF 103
Tanque Pulmón de petróleo	TK 104
Reactor	R 201
Tanque de almacenamiento de NaOH	TK 202
Tanque de almacenamiento de Na ₂ CO ₃	TK 203
Secadero	D 204
Silo de almacenamiento de Na ₂ CO ₃	S 206
Tanque de despacho de sales	TK 207
Centrífuga	C 208
Unidad de filtración	UF 301
Tanque de almacenamiento final	TK 302

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 94 de 310		

5 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA


5.1 SIMULACIÓN

Para realizar la simulación se utilizó el simulador denominado Aspen Plus, la versión 8.6 del mismo. El simulador utilizado se escogió dado que se adecúa de excelente manera a las condiciones manipuladas en el presente proyecto. Entre las situaciones a las que se hace referencia, se destaca en especial el manejo de sustancias sólidas y electrolitos que no es posible simularlas con otros simuladores conocidos.

Dentro del simulador mencionado, se asignó el paquete de fluidos denominado ELECNRTL, pues este está diseñado para la manipulación de sustancias fuertemente polares, como es el caso del agua, y permite la electrólisis de las sales, tal y como se precisa para simular los iones presentes.

Dentro de las consideraciones que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la simulación se encuentran las siguientes:

- En primer lugar, para la simulación del tanque skimmer, se utilizó un separador bifásico, dado que los sólidos que se depositan no son extraídos de manera continua, sino durante las operaciones de purgado del equipo. Cabe destacar en esta unidad, además, que el crudo se simuló con los datos obtenidos de un análisis ASTM D-86 realizado a un crudo no convencional extraído de la formación Vaca Muerta, yacimiento Loma Campana.
- Luego, debido a que el simulador no cuenta con una unidad de flotación propiamente dicha, se simuló la misma con un separador del tipo Split, al cual se le especificó la corriente de gas de entrada y la fracción de sólidos separados.
- Para la simulación del reactor se consideró un reactor estequiométrico ya que el mismo permite especificar la conversión de la reacción que es el dato con el cual se cuenta.
- Finalmente, para la simulación tanto de la centrífuga como de los filtros y el secador, se utilizaron las unidades para los mismos que proporciona el simulador, que, con los datos adecuados, convergen sin inconvenientes.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 95 de 310

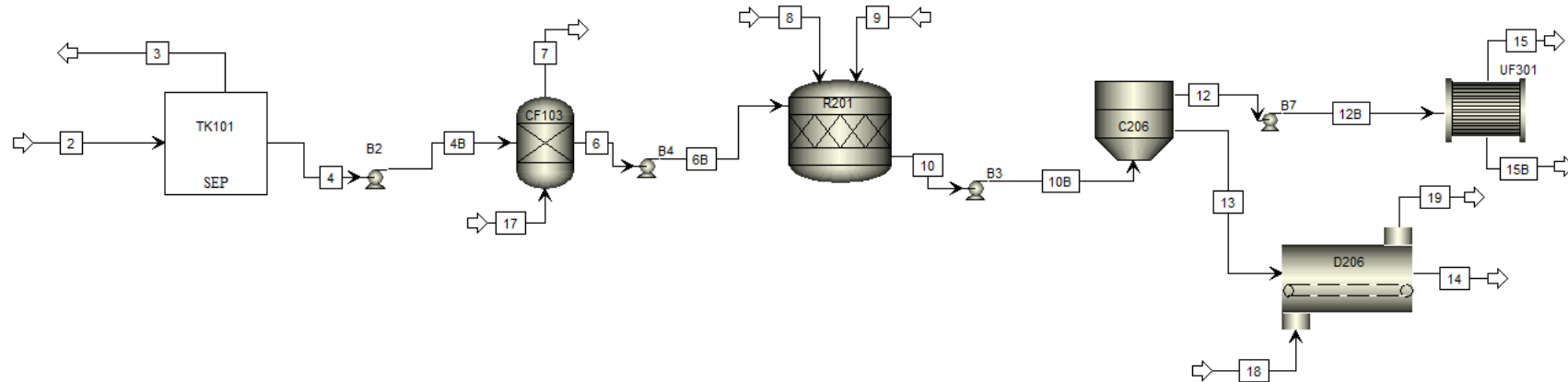






Figura 5.1. Ambiente de simulación.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 96 de 310	

5.2 BALANCE DE MASA GLOBAL

Tabla 5.1. Balance de masa global.

Caudal [Kg/h]	ENTRADAS				SALIDAS			
	1	17	8	9	5	7	14	16
Agua	218363,5	0,00	1603,17	5635,85	Trazas	2031,3	Trazas	200
Crudo	16666,6	0,00	0,00	0,00	16666,6 7	Trazas	Trazas	0,00
Sólidos	13541,6	0,00	0,00	0,00	0,00	13541,7	Trazas	< 50
Calcio (Ca²⁺)	911,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50-250
Magnesio (Mg²⁺)	454,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10-100
Hierro (Fe²⁺)	62,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1-20
Carbonato de Sodio	0,00	0,00	0,00	2415,36	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidróxido de Sodio	0,00	0,00	1603,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Carbonato de Calcio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2278,65	0,00
Hidróxido de Magnesio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1097,57	0,00
Hidróxido de Hierro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,45	0,00
Gas natural	0,00	200,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	0,00
Caudal Másico total	250000,0	200,00	3206,35	8051,22	16666,6	15772,9	3476,7	≈ 250

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 97 de 310		

5.3 BALANCE DE MASA POR EQUIPO

5.3.1 Tanque Skimmer


Tabla 5.2. Balance de masa en el Tanque Skimmer.

Caudal [Kg/h]	ENTRADA	SALIDAS	
Componente / Corriente	2	3	4
Agua	218363,5	Trazas	218363,5
Crudo	16666,7	16666,7	Trazas
Sólidos	13541,7	0,0	13541,7
Calcio	911,5	0,0	911,5
Magnesio	454,2	0,0	454,2
Hierro	62,5	0,0	62,5
Caudal Másico total	250000,0	16666,7	233333,3

5.3.2 Celda de flotación

Tabla 5.3. Balance de masa en la Celda de Flotación.

Caudal [Kg/h]	ENTRADAS		SALIDAS	
Componente / Corriente	4	17	7	6
Agua	218363,5	0,0	2031,3	216332,3
Crudo	Trazas	0,0	Trazas	Trazas
Sólidos	13541,7	0,0	13541,7	Trazas
Calcio	911,5	0,0	0,0	911,5
Magnesio	454,2	0,0	0,0	454,2
Hierro	62,5	0,0	0,0	62,5
Gas natural	0,0	200,0	200,0	0,0
Caudal Másico total	233333,3	200,0	15772,9	217760,4

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio		JTP: Krumrick, Ezequiel		Ayudante: Silva, Cristian		Página 98 de 310

5.3.3 Reactor



Tabla 5.4. Balance de masa en el Reactor.

Caudal [Kg/h]	ENTRADAS			SALIDAS	
	6	8	9	10	11
Corriente					
Componente					
Agua	216332,3	1603,2	5635,9	216193,2	139,1
Crudo	Trazas	0,0	0,0	Trazas	Trazas
Sólidos	Trazas	0,0	0,0	Trazas	Trazas
Calcio	911,5	0,0	0,0	Trazas	0,0
Magnesio	454,2	0,0	0,0	Trazas	0,0
Hierro	62,5	0,0	0,0	Trazas	0,0
Carbonato de Sodio	0,0	0,0	2415,4	Trazas	0,0
Hidróxido de Sodio	0,0	1603,2	0,0	Trazas	0,0
Carbonato de Calcio	0,0	0,0	0,0	1822,9	455,7
Hidróxido de Magnesio	0,0	0,0	0,0	878,1	219,5
Hidróxido de Hierro	0,0	0,0	0,0	80,4	20,1
Caudal Másico total	217760,4	3206,3	8051,2	218974,6	834,4

5.3.4 Centrífuga

Tabla 5.5. Balance de masa en la Centrífuga.

Caudal [Kg/h]	ENTRADA	SALIDAS		
		10	12	13
Corriente				
Componente				
Agua	216193,2	215776,0	417,2	
Crudo	Trazas	Trazas	Trazas	
Sólidos	Trazas	Trazas	Trazas	
Calcio	Trazas	Trazas	0,0	
Magnesio	Trazas	Trazas	0,0	
Hierro	Trazas	Trazas	0,0	
Carbonato de Sodio	Trazas	Trazas	0,0	
Hidróxido de Sodio	Trazas	Trazas	0,0	
Carbonato de Calcio	1822,9	Trazas	1822,9	
Hidróxido de Magnesio	878,1	Trazas	878,1	
Hidróxido de Hierro	80,4	Trazas	80,4	
Caudal Másico total	218974,6	215776,0	3198,5	

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 99 de 206

5.3.5 Unidad de filtración



Tabla 5.6. Balance de masa en la Unidad de Filtración.

Caudal [Kg/h]	ENTRADA	SALIDA
Corriente	12	15
Componente		
Agua	215776,0	200
Crudo	Trazas	0,00
Sólidos	Trazas	< 50
Calcio	Trazas	50-250
Magnesio	Trazas	10-100
Hierro	Trazas	1-20
Carbonato de Sodio	Trazas	0,00
Hidróxido de Sodio	Trazas	0,00
Carbonato de Calcio	Trazas	0,00
Hidróxido de Magnesio	Trazas	0,00
Hidróxido de Hierro	Trazas	0,00
Gas natural	Trazas	0,00
Caudal Másico total	215776,0	≈ 250

5.3.6 Secador

Tabla 5.7. Balance de masa en el Secador.


Caudal [Kg/h]	ENTRADAS		SALIDA
Corriente	11	13	14
Componente			
Agua	139,1	417,2	Trazas
Carbonato de Calcio	455,7	1822,9	2278,6
Hidróxido de Magnesio	219,5	878,1	1097,6
Hidróxido de Hierro	20,1	80,4	100,4
Gas natural	0,0	0,0	0,0
Caudal Másico total	834,4	3198,5	3476,7

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 100 de 206

5.4 BALANCE DE ENERGÍA

Tabla 5.8. Balance de Energía.

Codificación	Descripción	Consumo [KW]	
C-103	Rotor/Impulsor Celda de Flotación	250	
R-201	Agitador Reactor	75	
D-204	Secador	200	
C-208	Centrífuga	500	
P-105, P-106	Bomba Centrífuga	35	
P-107, P-108		10	
P-109, P-110		15	
P-111, P-112		15	
P-209, P-210		2	
P- 211, P-212		2	
P-213, P-214		5	
P-219, P-220		10	
P-303, P-304		35	
P-305, P-306		20	
P-113, P-114		Bomba de Desplazamiento Positivo	2
P-215, P-216			2
P-217, P-218			2


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 101 de 206		

6 DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN

El conocimiento que se tiene sobre la instrumentación de un proceso se vierte en el plano llamado diagrama de proceso e instrumentación. En general, al realizar un plano de instrumentación, a cada instrumento, se le asigna un ícono consistente en un círculo que contiene un código alfanumérico llamado Tag Number, el cual debe cumplir con ciertas características. ISA recomienda utilizar ciertas clases de líneas para representar flujos de proceso y señales de instrumentos. Además, define símbolos para válvulas, actuadores y otros.

6.1 IDENTIFICACIÓN FUNCIONAL DEL INSTRUMENTO

- Todas las letras de identificación funcional son Mayúsculas.
- Las letras a emplear no deben ser más de cuatro.
- La identificación de un instrumento incluye una primera letra para designar la variable bajo medida, y una o más letras que permiten establecer la función que ejecuta el instrumento.
- Por lo general, la identificación funcional se realiza con la siguiente secuencia: La primera letra es la variable bajo medición, a la que puede acompañar una letra modificadora, por ejemplo, TDT significa un transmisor diferencial de temperatura. La segunda letra es la función secundaria del instrumento y la tercera letra la función principal a las que puede acompañar una letra modificadora; por ejemplo, TSH indica que la función principal del instrumento es un switch que actúa por valor alto de temperatura.
- En todo caso la letra modificadora siempre está a continuación de la letra a la que modifica.
- Si para un instrumento es necesario indicar más funciones (no bastan las 4 letras), se debe presentar con dos círculos tocándose y estableciendo sus funciones.
- La identificación funcional de un instrumento se hace acorde a la función de éste y no acorde a su construcción.
- En un lazo de instrumentos, la primera letra, de identificación funcional, selecciona acorde a la variable medida y no a la variable manipulada. Por ejemplo, un controlador que varía el flujo para alcanzar un cierto nivel, se considera de acuerdo a lo dictado por la norma como un controlador de nivel y se designa por LC y no por FC.
- El número de letras funcionales agrupadas para un instrumento, debería ser mantenido al mínimo de acuerdo al juicio del usuario.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 102 de 206		

6.2 NUMERACIÓN DE LAZOS

Un lazo de instrumentación está constituido por un conjunto de instrumentos interconectados y relacionados con una variable de proceso de interés. La identificación de un lazo implicar asígnarle a este un único número, de esta manera, se puede completar la identificación de un instrumento al agregarle el número del lazo al que pertenece. La identificación del instrumento se llama TAG.

Un ejemplo típico de TAG es el siguiente:

TAG Number: LI 60.

60: Número del lazo.

LI: Identificación funcional.




La numeración del lazo puede ser paralela o serial. La numeración paralela involucra comenzar una secuencia numérica para cada nueva letra. La numeración serial involucra usar una única secuencia de números indiferente de la primera letra de identificación de un lazo. La secuencia de numeración de un lazo puede comenzar con "1" o con cualquier otro número conveniente.

6.3 IDENTIFICACIÓN DE LAZOS SEGÚN SU FUNCIÓN

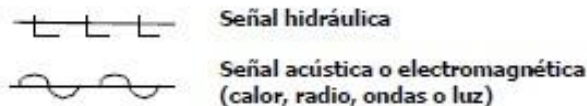
- Se define un lazo de medición a la conexión de instrumentos que nacen en una variable de proceso y terminan en un instrumento que puede procesar la señal original (por ejemplo, registrar o controlar).
- Se define un lazo de actuación a la conexión de instrumentos que nacen en un controlador y terminan en un elemento final de control (por ejemplo, una válvula de control).
- Se define un lazo de control a la conexión de instrumentos que nacen en una señal de control y terminan modificando una variable del sistema bajo control.

Un lazo de control puede ser una unión de lazos de medición y lazos de actuación.

6.4 REPRESENTACIÓN DE LÍNEAS

	Tubería de proceso (línea de proceso)
	Señal neumática
	Señal eléctrica

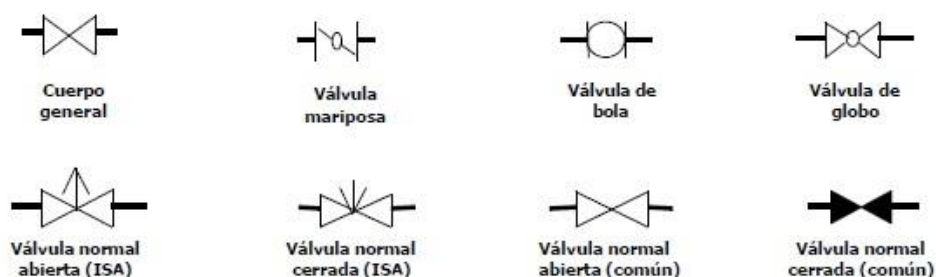
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 103 de 206		



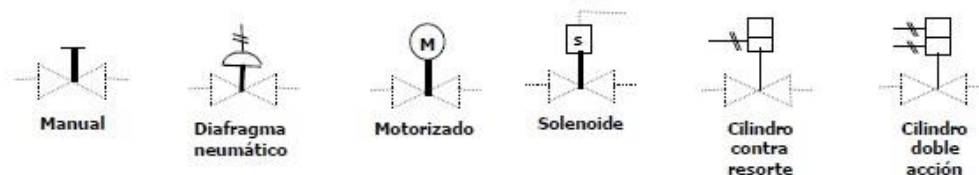
6.5 REPRESENTACIÓN DE INSTRUMENTOS





6.6 CUERPOS DE VÁLVULAS




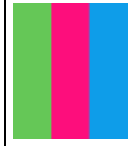
6.7 ACTUADORES



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 104 de 206

6.8 DEFINICIONES DE LETRAS EMPLEADAS EN LA IDENTIFICACIÓN FUNCIONAL DE UN INSTRUMENTO

PRIMERA LETRA		LETRAS SIGUIENTES		
VARIABLE MEDIDA O INICIO DE INFORMACIÓN	LETRA MODIFICANTE	FUNCIÓN DE LECTURA PASIVA	FUNCIÓN DE SALIDA	LETRA MODIFICANTE
A	ANÁLISIS	ALARMA		
B	FLAMA O QUEMADOR	LIBRE	LIBRE	LIBRE
C	CONDUCTIVIDAD (ELÉCTRICA)		CONTROL	
D	DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO	DIFERENCIAL		
E	VOLTAJE	ELEMENTO PRIMARIO (SENSOR)		
F	FLUJO	RAZÓN, FRACCIÓN		
G	CALIBRE (ESPESOR)	VISOR		
H	MANUAL			ALTO
I	CORRIENTE	INDICACION		
J	POTENCIA	EXPLORACIÓN (SCAN)		
K	TIEMPO		ESTACIÓN DE CONTROL	
L	NIVEL	LUZ PILOTO		BAJO
M	HUMEDAD			MEDIO O INTERMEDIO
N	LIBRE	LIBRE	LIBRE	LIBRE
O	LIBRE	ORIFICIO / RESTRICCIÓN		
P	PRESIÓN O VACÍO	PUNTO DE PRUEBA		
Q	CANTIDAD	INTEGRAR O TOTALIZAR		
R	RADIATIVIDAD	REGISTRAR		
S	VELOCIDAD O FRECUENCIA	SEGURIDAD	INTERRUPTOR	
T	TEMPERATURA		TRANSMISOR	
U	MULTIVARIABLE	MULTIFUNCIÓN	MULTIFUNCIÓN	MULTIFUNCIÓN
V	VISCOSIDAD		VÁLVULA	
W	PESO O FUERZA	TERMOPOZO (RTD, TERMOCUPLA, ETC)		
X	SIN CLASIFICAR	SIN CLASIFICAR	SIN CLASIFICAR	SIN CLASIFICAR
Y	LIBRE		(12 RELÉ, CONVERSOR, COMPUTADOR)	
Z	POSICIÓN		ACTUAR, OPERAR O ELEMENTO FINAL DE CONTROL	

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 105 de 206

6.8.1 Casos de identificación

TT	Transmisor de temperatura.
LC	Control de nivel
FI	Indicador de flujo
GR	Registrador de espesor
ME	Elemento primario de humedad
KS	Switch por tiempo

LIC	Caso (a)	Controlador e indicador de nivel
ZRK	Caso (a)	Estación de control y registrador de posición
TDI	Caso (b)	Indicador de diferencial de temperatura
JSH	Caso (c)	Switch valor alto de potencia
JSL	Caso (c)	Switch valor bajo de potencia

6.9 CODIFICACIÓN DE TUBERÍAS



Todas las tuberías están representadas en los Diagramas de Tuberías e Instrumentación por medio de líneas, con una codificación alfanumérica que permite identificarlas para su posterior diseño y compra.

No existen normas que establezcan codificaciones universales, sino que dependen de cada proyecto. Aunque contienen básicamente la misma información, la forma de representarla difiere. La codificación adoptada es la siguiente:

AA-BB-DDDD-EEEE

(Ej: 4"-FG-0035-A1A1-AC)



- AA: diámetro nominal, en pulgadas ("). Este diámetro no coincide necesariamente con el diámetro interior o exterior de la tubería, el cual dependerá del espesor, tipo de material y libraje (Ej: 4 pulgadas).
- BB: código de fluido, para diferenciar el servicio para el cuál es empleada la tubería (Ej: fuel gas).
- DDDD: número de línea. Se asignan de manera secuencial (Ej: 0035).
- EEEE: especificación Material de la tubería. (Ej: acero al carbono)

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 106 de 206		

6.10 DISEÑO DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN



A continuación, se detallará el sistema de control adoptado en la planta.

- Todos los tanques de almacenamiento, cuentan con alertas de nivel bajo y alto de líquido, además de un indicador de nivel del fluido.
- El tanque Skimmer particularmente, cuenta, además, con un indicador de presión, y un controlador de nivel que funciona regulando la bomba que alimenta al tanque.
- Todas las bombas cuentan con indicadores de presión antes y después de las mismas.
- La celda de flotación cuenta con indicador y alertas de nivel del líquido.
- El reactor cuenta con indicador de nivel de líquido. Además, de acuerdo a la acumulación de sales precipitadas en el mismo, se abrirá una válvula en el fondo para la evacuación de dichas sales.
- El secadero de sales contará con un indicador de temperatura.
- La unidad de filtración, que cuenta con tres filtros de antracita, cuenta con indicadores de presión antes y después de cada uno de estos. De acuerdo al diferencial de presión medido, el sistema de control cierra y abre las válvulas de alimentación a cada filtro para que, al encontrar un alto diferencial de presión, ese filtro pueda sacarse de servicio para posterior retrolavado y la alimentación sea dirigida al siguiente filtro. Entonces, el controlador del diferencial de presión, regula tanto las válvulas de entrada a los filtros como las válvulas que permiten el ingreso del agua para lavado desde el tanque de agua tratada. Dicho sistema está diseñado de forma tal que, al llegar el primer filtro a la mitad de su tiempo de utilidad, se envíe alimentación al siguiente filtro. De este modo, siempre habrá dos filtros en funcionamiento y un tercero siendo lavado.
- Habrá controladores de presión antes y después de los filtros para medir el diferencial de presión en la línea de retrolavado, de esta forma, al disminuir dicho diferencial hasta el nivel deseado se dará por finalizado el retrolavado.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 107 de 206

6.11 BIBLIOGRAFÍA

- NSA. (1992). Normas ANSI/ISA-5.1. *Normas ANSI/ISA-5.1 Instrumentation Symbols and Identification.*



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 108 de 206

7 SEGURIDAD DE LA PLANTA

La seguridad es un tema de suma importancia en cualquier planta industrial, dado que abarca tanto la protección y seguridad para las personas, como así también para el medio ambiente y las instalaciones.

En primer lugar, se dan algunas directrices de seguridad en lo que respecta a los empleados que trabajan en entornos peligrosos.

- Evaluación de riesgos: no se deben tomar riesgos innecesarios y mantener la calma si se encuentra en una situación que presente peligro. Se llevará a cabo una evaluación de riesgos para prevenir problemas.
- Operación de maquinaria pesada: toda la maquinaria debe tener los protectores de seguridad del fabricante instalados y debe estar en perfecto funcionamiento. El manejo manual peligroso es un riesgo, por lo que el personal estará entrenado correctamente en los aspectos técnicos de la operación.
- Equipo de seguridad: todos los trabajadores deben utilizar el equipo de seguridad requerido de manera limpia. Se evitará el uso de ropa suelta o joyas para evitar accidentes con la maquinaria.
- Mantenimiento de la limpieza: además de la limpieza y organización en el lugar de trabajo, se establecerán factores como ventilación adecuada y accesorios de iluminación.
- Entrenamiento de seguridad: los empleados deben ser conscientes de todos los procedimientos de seguridad, especialmente en lo que respecta a su posición específica. Se realizarán entrenamientos periódicos para reducir los riesgos de accidentes.
- Simulacros de evacuación de emergencia: los trabajadores deben estar familiarizados con todas las emergencias y saber dónde se mantienen los extintores y cómo usarlos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 109 de 206

7.1 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

En lo que concierne a la protección contra incendios, la evaluación se realizó de acuerdo a lo que dicta la Ley 19587- SOBRE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.



La protección contra incendios comprende el conjunto de condiciones de construcción, instalación y equipamiento que se deben observar tanto para los ambientes como para los edificios, aun para trabajos fuera de éstos y en la medida en que las tareas los requieran. Los objetivos a cumplimentar son:

- 1) Dificultar la iniciación de incendios.
- 2) Evitar la propagación del fuego y los efectos de gases tóxicos.
- 3) Asegurar la evacuación de las personas.
- 4) Facilitar el acceso y las tareas de extinción del personal de bomberos.
- 5) Proveer las instalaciones de detección y extinción.

La cantidad de matafuegos necesarios en los lugares de trabajo se determinará según las características y áreas de los mismos, importancia del riesgo, carga de fuego, clases de fuegos involucrados y distancia a recorrer para alcanzarlos. Las clases de fuegos se designarán con las letras A - B - C y D y son las siguientes:

1. Clase A: Fuegos que se desarrollan sobre combustibles sólidos, como ser madera, papel, telas, gomas, plásticos y otros.
2. Clase B: Fuegos sobre líquidos inflamables, grasas, pinturas, ceras, gases y otros.
3. Clase C: Fuegos sobre materiales, instalaciones o equipos sometidos a la acción de la corriente eléctrica.
4. Clase D: Fuegos sobre metales combustibles, como ser el magnesio, titanio, potasio, sodio y otros.

Los matafuegos se clasificarán e identificarán asignándole una notación, consistente en un número seguido de una letra, los que deberán estar inscriptos en el elemento con caracteres indelebles. El número indicará la capacidad relativa de extinción para la clase de fuego identificada por la letra. Este potencial extintor será certificado por ensayos normalizados por instituciones oficiales. En todos los casos deberá instalarse como mínimo un matafuego cada 200 metros cuadrados de superficie a ser protegida. La máxima distancia a recorrer hasta el matafuego será de 20 metros para fuegos de clase A y 15 metros para fuegos de clase B. El potencial mínimo de los matafuegos para fuegos de clase A responderá a lo especificado en el Anexo VII e idéntico criterio se seguirá para fuegos de clase B, exceptuando los que presenten una superficie mayor de 1 metro cuadrado.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 110 de 206

En aquellos casos de líquidos inflamables (clase B) que presenten una superficie mayor de 1 metro cuadrado, se dispondrá de matafuegos con potencial extintor determinado en base a una unidad extintora clase B por cada 0,1 metro cuadrado de superficie líquida inflamable, con relación al área de mayor riesgo, respetándose las distancias máximas señaladas precedentemente.

Siempre que se encuentren equipos eléctricos energizados, se instalarán matafuegos de la clase C. Dado que el fuego será, en sí mismo, clase A o B, los matafuegos serán de un potencial extintor acorde con la magnitud de los fuegos clase A o B que puedan originarse en los equipos eléctricos y en sus adyacencias.

7.1.1 Plataforma de trabajo

Las plataformas de trabajo, fijas o móviles, estarán construidas de materiales sólidos y su estructura y resistencia será proporcionada a las cargas fijas o móviles que hayan de soportar.

Los pisos y pasillos de las plataformas de trabajo serán antideslizantes, se mantendrán libres de obstáculos y estarán provistas de un sistema de drenaje que permita la eliminación de productos resbaladizos.

Las plataformas que ofrezcan peligro de caída desde más de dos metros estarán protegidas en todo su contorno por barandas.



Cuando se ejecuten trabajos sobre plataformas móviles se emplearán dispositivos de seguridad que eviten su desplazamiento o caída.

7.1.2 Condiciones de extinción

Las condiciones de extinción constituyen el conjunto de exigencias destinadas a suministrar los medios que faciliten la extinción de un incendio en sus distintas etapas.

Todo edificio deberá poseer matafuegos con un potencial mínimo de extinción equivalente a 1 A y 5 BC, en cada piso, en lugares accesibles y prácticos, distribuidos a razón de 1 cada 200 m² de superficie cubierta o fracción. La clase de estos elementos se corresponderá con la clase de fuego probable.

Se contará con un taque de agua para incendios, de capacidad no menor a 20 m³, equipado con una cañería de 76 mm. de diámetro, que permita tomar su caudal desde el frente del inmueble, mediante una llave doble de incendio de 63,5 mm. de diámetro.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 111 de 206		

7.1.2.1 Extintores de llama en la planta

De acuerdo al requerimiento de 1 (UN) extintor de llama mínimo cada 200 m², y a las condiciones de cada equipo, se establece lo siguiente.

Área	Área (m ²)	Extintores de llama
Oficinas	9	1A
Laboratorio	12	1A, 1B
Almacenes	26	1D, 1A
Panel de Control	16	1A
Cocina/ Comedor	12	1A

En cuanto a el área de tanques y de procesos, se contará con una red contra incendios, equipada de los siguientes componentes:

7.1.2.1.1 Sistema de detección y extinción

El primer componente del sistema corresponde a todos aquellos controladores que estarán ubicados en la planta y detectan la presencia de incendios. Cuando esto ocurre, envían automáticamente una señal de manera de alertar y activar los sistemas de extinción de incendio.



Se cuenta además con un sistema de detección de gases, especialmente uno cerca de la celda de flotación, de manera de advertir cualquier posible fuga que pudiera producirse y un sistema de monitoreo que al detectar una llama activará el sistema de rociadores conectados a la red hidrante.

7.1.2.1.2 Rociadores de agua

Los sistemas de rociadores son boquillas pulverizadoras de agua que se activan ante la señal que envía el sistema de detección antes descripto. Las mismas son ubicadas perimetrales a cada área.

7.1.2.1.3 Cámaras de espuma

Para el caso de los tanques, se dispondrá de un sistema de cámaras de espuma para la extinción de los depósitos desde la parte superior de los mismos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 112 de 206

Las cámaras de espuma están compuestas por el concentrado de espuma, que, conectadas a la red hidrante, al activarse generan la solución. El objetivo de esta mezcla, es lograr la espuma como producto final de la expansión, con el agregado de aire y agitación mecánica. La característica fundamental de la espuma formada es que posee menor densidad que los líquidos inflamables, lo cual le permite flotar sobre estos, produciendo una capa cohesiva continua flotante, denominada manto de espuma. Evita o extingue el incendio por exclusión de aire y posterior enfriamiento del combustible. También evita la reignición al suprimir de la mezcla combustible la presencia de vapores inflamables, teniendo la propiedad de adherirse a las superficies, lo cual proporciona un grado de protección a la exposición de incendios adyacentes.

7.2 PUESTA A TIERRA



La puesta a tierra es un mecanismo de seguridad que forma parte de las instalaciones eléctricas y que consiste en conducir eventuales desvíos de la corriente hacia la tierra, impidiendo que la misma entre en contacto con el ambiente, y por lo tanto las personas. Es por ello que, todas las instalaciones eléctricas dentro de la planta, deberán estar conectados a tierra a efectos de eliminar corrientes estáticas, eventuales descargas atmosféricas u otro sistema de descargas eléctricas.

El sistema de puesta a tierra consta con dos elementos fundamentales como son la tierra, que es el terreno donde se va a proceder a disipar las pertinentes energías o electricidad, y la puesta a tierra propiamente dicha. Esta conexión o instalación, por su parte, se compone de los electrodos o jabalinas, los bornes de puesta a tierra, la línea de enlace con la tierra y, por último, los conductores de protección.

7.3 PARARRAYOS

La planta contará con pararrayos de protección para las personas, equipos y edificios de eventuales descargas eléctricas atmosféricas. Los mismos estarán conectados desde su posición con los respectivos dispositivos de puesta a tierra.

Las normas IRAM 2184 y 2426 son quienes establecen las definiciones esenciales y los principios generales de la protección contra descargas eléctricas, como así también brinda la información necesaria en relación con el diseño, la construcción y los materiales para la instalación de sistemas de protección interna y externa contra descargas atmosféricas en estructuras comunes. Asimismo, ofrece los requisitos básicos para efectuar un buen programa de mantenimiento e inspecciones.

 <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN</p>	<p>PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA</p>	<p><u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)</p>	
<p>Tratamiento de agua de flowback</p>		<p>Año de cursada: 2018</p>	
<p><u>Profesor:</u> Spesot, Horacio</p>	<p><u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel</p>	<p><u>Ayudante:</u> Silva, Cristian</p>	<p>Página 113 de 206</p>

7.4 PARADA DE PLANTA

Con el objetivo de disminuir cualquier tipo de riesgo de seguridad dentro de la planta, se debe realizar un análisis de los inconvenientes que trae aparejados un posible paro de la misma ante cualquier eventualidad como podrían ser cortes en el suministro de energía o ruptura de algún equipo o cañería, entre otras causas.

Como medidas de prevención de accidentes, se diseña un sistema de evacuación, el cual es un sistema de seguridad complementario a las válvulas de seguridad que forman los sistemas de alivio. Aunque dichos sistemas pueden emplearse también en situaciones operacionales como arranque y puesta en marcha, purgas y otras operaciones, nos centramos en el uso de estos, en situaciones de emergencia.

A continuación, se muestra un procedimiento a seguir en caso de parada de planta.

7.4.1 Secuencia del sistema de emergencia



- 1) Alarmas de Planta.
- 2) Como primera medida ante la interrupción del proceso, se debe cerrar la válvula de alimentación al mismo y por ello se cuenta con un tanque de almacenamiento con capacidad suficiente (3 veces la capacidad de procesamiento diaria) para almacenar la alimentación mientras el inconveniente está siendo solucionado.
- 2) Bloqueo o cierre de válvulas de ingreso de gas a planta.
- 3) En caso de incendio, encendido de Moto-bomba de Red contra incendios.
- 4) Paro de equipos y bombas.
- 5) Verificación de cierre correcto de válvulas de ingreso.
- 6) Contención de los fluidos de proceso en los equipos.
- 7) Espera condición de Reset.

Se debe tener en cuenta que, en caso de corte de energía, las válvulas deben ser accionadas de manera manual.

7.5 CRITERIOS DE SEGURIDAD Y RIESGOS ASOCIADOS A LA MANIPULACIÓN DE SUSTANCIAS.

Para la clasificación de Productos Químicos se utiliza el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos (SGA). Dicho sistema es un método armonizado de:

- Definir peligros físicos, para la salud y para el ambiente de los productos químicos.
- Clasificar con criterios de peligro.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 114 de 206

- Comunicar la información.

Para:

- Utilizar los mismos criterios para definir una sustancia o mezcla como peligrosa.
- Facilitar la comunicación de peligros a nivel mundial mediante un sistema común.

De acuerdo a lo establecido por el SGA, los peligros de los productos químicos deben comunicarse a través de indicaciones y pictogramas normalizados en las etiquetas y las hojas de datos de seguridad, los que deben incluir la siguiente información:

- Identidad del Proveedor: Nombre, dirección y número de teléfono del fabricante o proveedor.
- Identificación del Producto: Nombre químico de la sustancia y su identificación numérica única. Para las mezclas se debe indicar su nombre comercial y el de las sustancias que la clasifican como peligrosa.
- Pictograma de Precaución: Elemento gráfico que sirve para transmitir una información específica sobre un determinado peligro.
- Palabras de Advertencia: Sirven para indicar la mayor o menor gravedad del peligro.
- Indicaciones del Peligro: Describen la naturaleza de los peligros asociados a un producto químico y la categoría correspondiente el grado de ese peligro.
- Consejos de Prudencia: Describen las medidas recomendadas para minimizar o evitar los efectos adversos que puede causar la exposición a un producto químico peligroso, o los asociados a conductas inapropiadas durante su manipulación, almacenamiento o eliminación.





 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 115 de 206



Figura 7.1. Etiqueta SGA tomada a modo de ejemplo.

Los pictogramas son composiciones gráficas que contienen un símbolo, así como otros elementos gráficos, tales como un borde, un motivo o un color de fondo, y que sirve para comunicar informaciones específicas. En cuanto al uso de elementos gráficos de precaución, los siguientes pictogramas son los utilizados en nuestro país. El color “Rojo” representa los peligros físicos; El “Verde” los peligros para la salud y el “Azul” los peligros para el medio ambiente.



	Corrosión cutánea <ul style="list-style-type: none"> • Sustancias y mezclas corrosivas para los metales • Corrosión cutánea • Lesiones oculares graves
	Corrosión cutánea <ul style="list-style-type: none"> • Irritación cutánea • Toxicidad aguda (nocivo) • Irritación ocular grave • Sensibilización cutánea • Toxicidad sistémica específica de órganos diana tras una exposición única (Irritación/somnolencia o vértigo) <p>• Peligro para la capa de ozono</p>
	Explosivos <ul style="list-style-type: none"> • Explosivos • Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente • Peróxidos orgánicos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERÍA QUÍMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 116 de 206

	Gases Comprimidos <ul style="list-style-type: none"> • Gases a presión
	Líquidos Comburentes <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos comburentes • Líquidos comburentes • Gases comburentes
	Peligroso para el Medio Ambiente Acuático <ul style="list-style-type: none"> • Peligro a corto plazo (agudo) para el medio ambiente acuático • Peligro a largo plazo (crónico) para el medio ambiente acuático
	Toxicidad Aguda <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda (mortal/tóxico)
	Peligro por aspiración <ul style="list-style-type: none"> • Sensibilización respiratoria • Mutagenicidad en células germinales • Carcinogenicidad • Toxicidad para la reproducción • Toxicidad sistémica específica de órganos diana tras exposiciones repetidas (daños) <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad sistémica específica de órganos diana tras una exposición única (daños)
	Líquidos Inflamables <ul style="list-style-type: none"> • Gases inflamables • Líquidos inflamables • Sólidos inflamables • Sustancias y mezclas que reaccionan espontáneamente • Aerosoles • Líquidos pirofóricos <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos pirofóricos • Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo • Sustancias y mezclas que en contacto con el agua desprenden gases inflamables • Peróxidos orgánicos



Figura 7.2. Pictogramas.

Es fundamental que todos los trabajadores tengan una clara interpretación de estos símbolos, su significado y cuáles son los peligros físicos presentes para la salud y para el medio ambiente, así como los consejos de prudencia que involucran protección, prevención, emergencias, entre otros.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 117 de 206

7.6 BIBLIOGRAFÍA

- Ley 19587 (1972). *Higiene y Seguridad en el Trabajo*.
- Nación, M. d. (s.f.). *Superintendencia de Riesgos de Trabajo*. Obtenido de <https://www.srt.gob.ar/index.php/sga-pictogramas/>

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 118 de 206		

8 LAYOUT

El diseño del Layout de la planta consiste en realizar la distribución de los equipos, cañerías e instalaciones dentro de la misma de manera de optimizar el espacio y cumplir además con los requerimientos de espaciamiento mínimo establecidos por norma.

Una buena concepción del layout es realizada llevando a cabo un balance entre los requerimientos de seguridad, economía, la protección de las personas y el medio ambiente, construcción, mantenimiento, operación, espacio para futuras expansiones y las necesidades del proceso. También se tienen en cuenta las condiciones climáticas y la legislación, así como la estética y la percepción del público.

La importancia de un buen diseño del layout radica en que juega un papel vital en el éxito comercial de un proyecto, dado que hace que la planta sea segura y eficiente para construir, operar y mantener, al tiempo que hace un uso efectivo del espacio disponible.


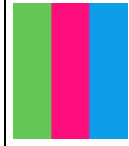
8.1 UBICACIÓN GROGRÁFICA DE LA PLANTA

El proyecto a desarrollar estará ubicado adyacente a la Planta de Tratamiento de Crudo (PTC) del yacimiento Loma Campana. Dicho yacimiento se encuentra en las afueras de la localidad de Añelo, provincia de Neuquén.

Tal y como se ha dicho, la ubicación se escogió para evitar de esta manera el transporte del agua hacia una planta lejana lo cual trae aparejado una reducción sustancial en el tráfico de camiones y sus gastos asociados, simplificando la logística del manejo de agua y contribuye a la seguridad vial.



Figura 8.1 Imagen Satelital de la Ubicación Geográfica de la Planta.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 119 de 206		

8.2 CONDICIONES METEREOLÓGICAS

Posteriormente a establecer la ubicación geográfica de la planta, es de vital importancia la caracterización de dicha ubicación. Dentro de los rasgos a caracterizar se encuentran, por supuesto, las condiciones meteorológicas. Para ello, se han tomado datos de temperaturas y precipitaciones a lo largo del año, así como de los vientos predominantes.

8.2.1 Distribución de temperaturas

Para la descripción de la distribución de las temperaturas anual, se hace uso del gráfico 8.1, en el cual se muestran las temperaturas promedio encontradas en los distintos meses del año. En dicho diagrama se puede distinguir fácilmente a Enero, como el mes más cálido del año ya que presenta las mayores temperaturas y en contraposición se encuentra Julio, donde se encuentran las temperaturas más bajas.

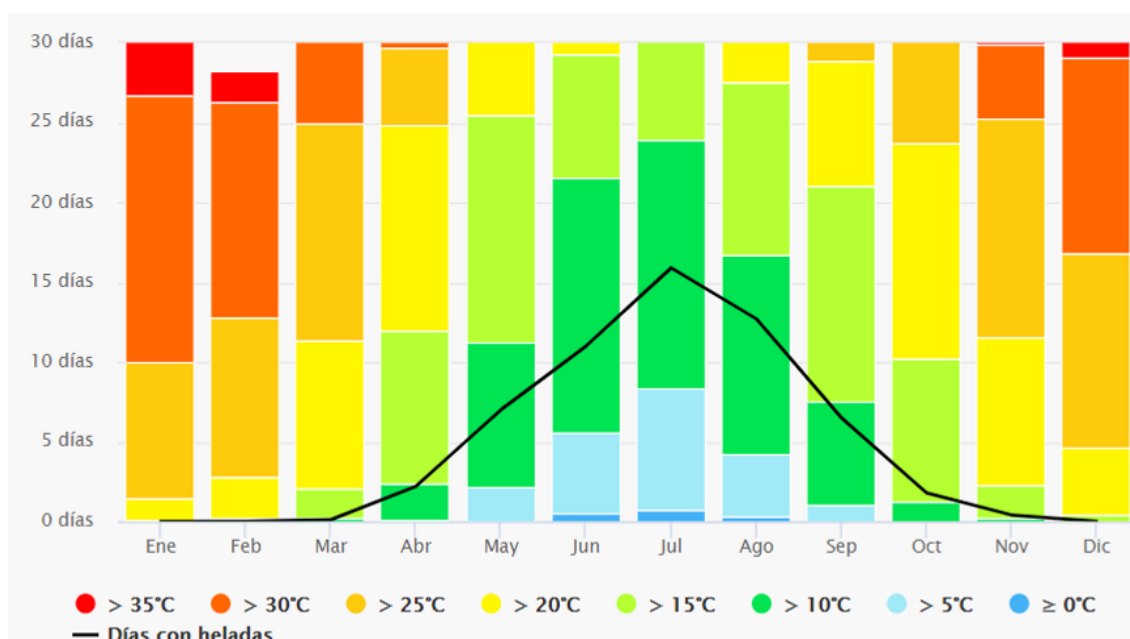




Gráfico 8.1. Distribución de temperaturas anual.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 120 de 206	

8.2.2 Temperaturas medias y precipitaciones

Adicionalmente al *Gráfico 8.1*, se muestra en el *Gráfico 8.2* la distribución de temperaturas máximas y mínimas promedio en los distintos meses del año, junto con la distribución de precipitaciones. Afirmando lo dicho anteriormente, enero es el mes donde se encuentran las mayores temperaturas, siendo el promedio aproximadamente 23°C. Por otra parte, Julio presenta las menores temperaturas rondando su media en 7°C.

A partir de los datos de la gráfica para las precipitaciones, se observa que el mes más seco es enero con un promedio de 6 mm de precipitaciones, y el más húmedo es abril, con 16 mm.

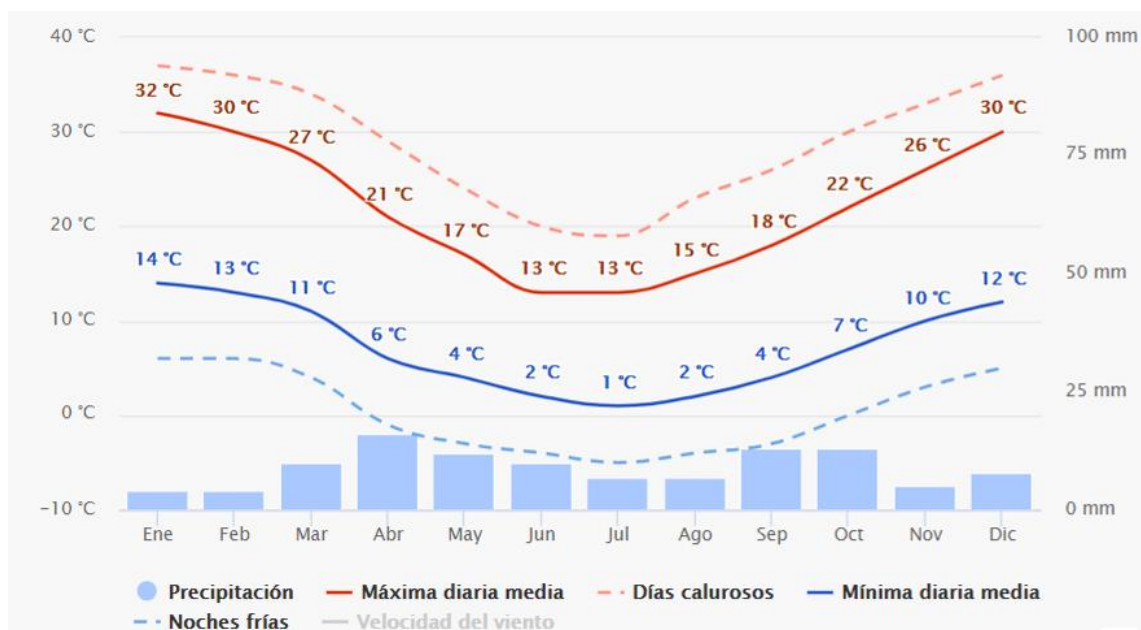



Gráfico 8.2. Distribución de temperaturas y precipitaciones.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 121 de 206		

8.2.3 Distribución de precipitaciones

Tal y como se dijo en la sección anterior, se puede observar a abril como el mes donde se encuentran la mayor cantidad de precipitaciones, pudiendo alcanzar estas hasta los 20-50 mm. En contraposición se encuentra enero con precipitaciones muy escasas que sólo rondan en 2 mm.

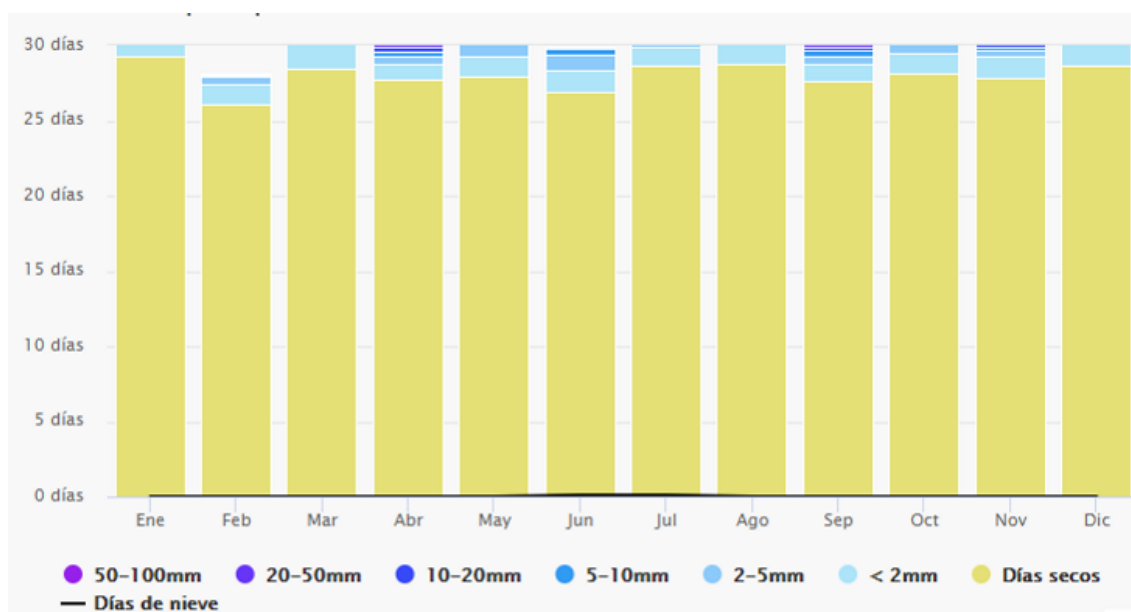




Gráfico 8.3. Distribución de precipitaciones.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 122 de 206	

8.2.4 Velocidad de los vientos

En el diagrama 4, se muestra la velocidad de los vientos promedio a lo largo del año. Se puede observar que en junio dichas velocidades son menores, siendo el promedio menor a 10 Km/ h. En diciembre se encuentran los vientos más fuertes, pudiendo alcanzar estos los 50 Km/h (con ráfagas aún mayores).

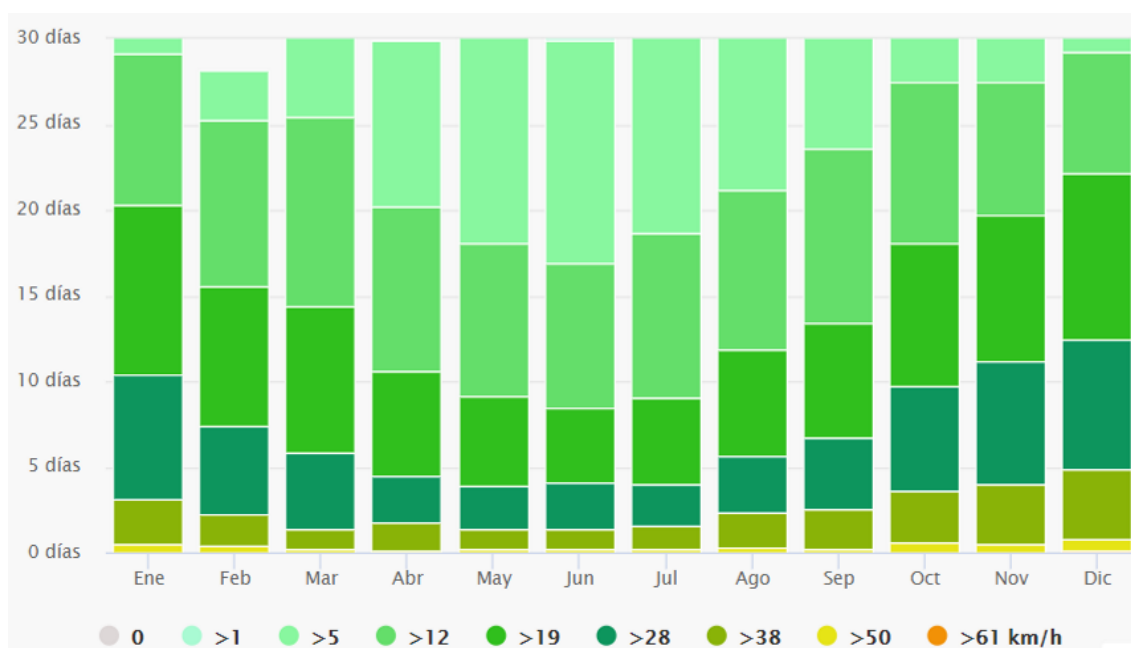




Gráfico 8.4. Velocidad de viento anual.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 123 de 206

8.2.5 Vientos predominantes

Para describir la dirección de los vientos predominantes en la localidad, se realizó el análisis sobre la rosa de los vientos mostrada en el *Gráfico 8.5*. En ella, se muestra la magnitud con la que soplan los vientos y la dirección de donde provienen. Se puede decir entonces, que mayormente los vientos provienen del oeste/sudoeste, dirigiéndose hacia el este/noreste.

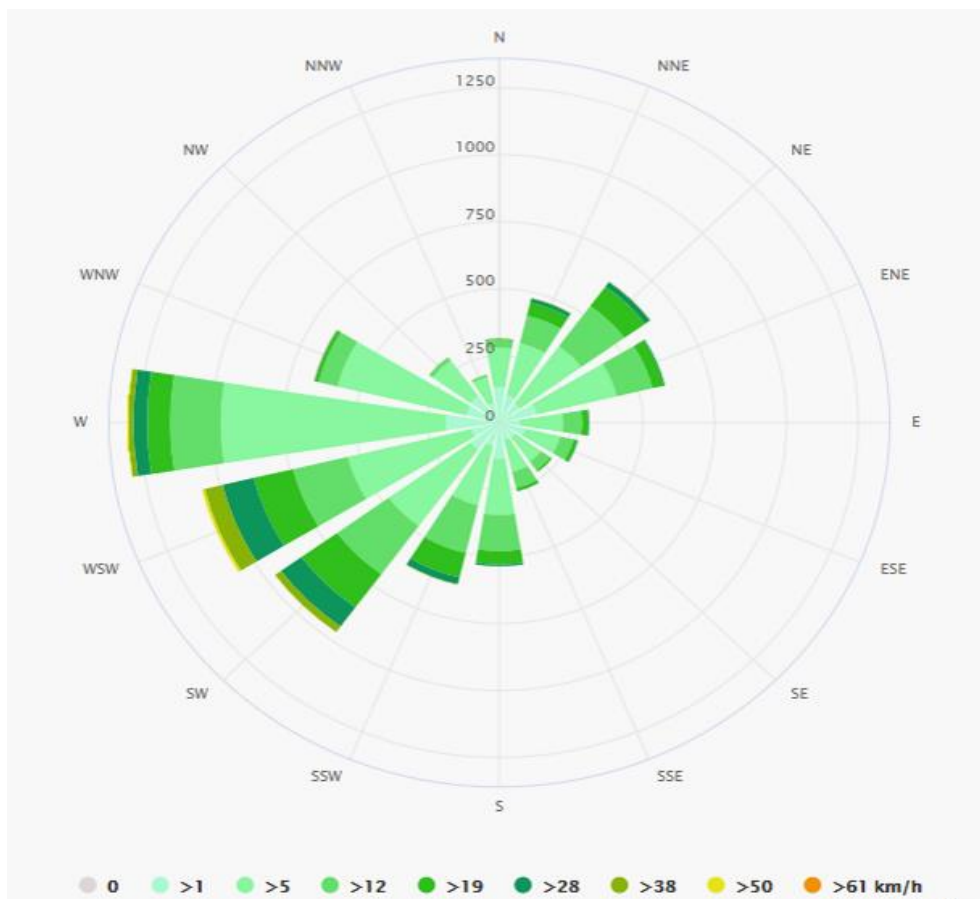




Gráfico 8.5. Rosa de los vientos con vientos predominantes.



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 124 de 206		

8.2.6 Datos climatológicos históricos

Adicionalmente a la información brindada, se muestran en la *Tabla 8.1*, algunos datos climatológicos históricos que fueron obtenidos realizando un promedio de dichos datos en los 10 últimos años.

Tabla 8.1. Datos climatológicos históricos.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	22.4	21.4	18.1	13.5	9.6	6.5	6.2	7.7	10.6	14.5	18.5	21.3
Temperatura min. (°C)	13.9	12.7	9.7	6.1	3.1	0.6	-0.1	0.6	3.2	6.7	10.3	12.9
Temperatura máx. (°C)	30.9	30.1	26.6	20.9	16.2	12.5	12.6	14.9	18	22.4	26.8	29.8
Temperatura media (°F)	72.3	70.5	64.6	56.3	49.3	43.7	43.2	45.9	51.1	58.1	65.3	70.3
Temperatura min. (°F)	57.0	54.9	49.5	43.0	37.6	33.1	31.8	33.1	37.8	44.1	50.5	55.2
Temperatura máx. (°F)	87.6	86.2	79.9	69.6	61.2	54.5	54.7	58.8	64.4	72.3	80.2	85.6
Precipitación (mm)	12	10	12	14	16	13	11	11	10	16	9	11

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 125 de 206

8.3 DISEÑO PRELIMINAR



Para realizar una distribución preliminar de la planta, se adoptó la metodología de distribución por áreas, agrupando en grandes bloques las diferentes instalaciones en función de las características tanto funcionales como de peligrosidad de cada una utilizando como punto de partida el orden de las operaciones unitarias dentro del diagrama de flujo. De esta manera, se obtuvieron las siguientes áreas:

- Área de remoción de hidrocarburos.
- Área de remoción de sólidos.
- Área de remoción y acondicionamiento de sales.
- Área de clarificación final.
- Área de tanques de almacenamiento.
- Oficinas.
- Sala de control.
- Sanitarios y sala de usos múltiples (cocina/comedor).
- Laboratorio de análisis.
- Almacén.
- Estacionamiento.
- Despacho.

8.4 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Para realizar la distribución de los equipos, cañerías y demás instalaciones dentro de la planta se plantearon las siguientes consideraciones:

- En la periferia de las instalaciones dentro del límite de propiedad, incluidas todas las áreas, se dispuso de una franja de amortiguamiento mínima, que según normas debe ser de 50 metros.
- Las áreas que forman parte del proceso de tratamiento se agruparon, así como las oficinas, sala de control, laboratorio, almacén y sanitarios y a su vez estas áreas agrupadas se separaron entre sí mediante calles, procurando que las mismas sean de trazo recto para permitir la circulación cómoda y segura de vehículos. Las calles alrededor de la planta de procesos son especialmente importantes dado que son esenciales para mantenimiento de los equipos y circulación de grúas en caso de



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 126 de 206

remoción de alguno de ellos. El ancho estimado para las calles según las normas establecidas es de 3,8 a 6 m por lo que se adoptó el ancho máximo establecido (6m)


- Las áreas de oficinas, sala de control, laboratorio, almacén, sanitarios y sala de usos múltiples, se ubicaron en un extremo lo más alejadas posible de la planta de proceso dado que son estas las áreas de mayor concentración de personal y se debe resguardar la seguridad de las personas, tanto de lesiones como por ejemplo por protuberancias, maquinaria en movimiento, escape o derrame de productos químicos, como así también para que en caso de incendio o explosión se pueda evacuar rápidamente la zona. Además, se tuvo en cuenta que estas áreas estuvieran en la zona en contra de la dirección del viento prevaleciente.
- Por otra parte, las instalaciones dentro de cada área en la planta de procesos se ordenaron de manera que formen cuadrículas permitiendo así ser separadas por pasillos con trazos rectos que resultan indispensables para el acceso a cada equipo por mantenimiento. El ancho de pasillo estimado es de 1,7 m para aquellos que precisen el pasaje de maquinaria y 1,2 m para el de personas.

A continuación, se da una breve descripción de la ubicación de cada equipo dentro de la planta:

- El tanque Skimmer se colocó en el extremo de la planta contiguo a la planta de tratamiento de crudo de manera de optimizar la longitud de la cañería de transporte ya que el agua proveniente de esta se acumula en primer lugar en un tanque dispuesto para recepción y luego procede al tanque Skimmer. También resulta conveniente la localización de dichos tanques en un extremo de la planta debido a su gran tamaño, y para evitar el entorpecimiento de las maniobras que se requieran.
- Seguidamente del tanque Skimmer se ubicó la celda de flotación ya que corresponde a la siguiente etapa del proceso separándose entre sí por distancias suficientes para permitir una operación y mantenimiento seguros sin desperdiciar espacio.
- Dado que el secadero emite vapor de agua, se colocó en un extremo de la planta a sotavento de la dirección del viento prevaleciente, de modo que los mismos sean arrastrados hacia afuera de esta, y no en dirección del resto de los equipos, oficinas, tanques de almacenamiento o la planta de tratamiento de crudo cercana.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 127 de 206

- Por otra parte, debido a que los productos resultantes del secadero son sólidos, los mismos deben ser transportados hacia el tanque de despacho a través de cintas transportadoras, por lo cual, para disminuir la longitud de las mismas, se ubicó dentro de las distancias mínimas permitidas, lo más cerca posible de dicho tanque.
- El tanque reactor se colocó en un extremo de la planta cercano al área de tanques de manera que se encuentre lo más cerca posible, dentro de los límites permisibles, a los tanques de almacenamiento de las soluciones de carbonato e hidróxido de sodio.
- El silo de almacenamiento de carbonato de sodio, se colocó lo más cerca posible del tanque en el cual se preparará su solución de forma de minimizar la distancia y, por consiguiente, reducir la potencia requerida de la bomba.
- La unidad de filtración se colocó, respetando las distancias permitidas, adyacente al tanque de almacenamiento final de agua tratada, ya que corresponde a la etapa final del proceso de tratamiento para optimizar la longitud de la tubería y de esta manera reducir las pérdidas de presión por fricción.
- Se tuvo en cuenta de colocar las bombas lo más cerca posible del equipo del cual succionan, y de ser posible a una altura menor que estos, para generar un ANPA disponible para la bomba mayor. Además, el eje impulsor de cada bomba se debe orientar perpendicularmente a las tuberías u otros equipos.
- Asimismo, los tanques de almacenamiento se colocaron en el extremo este de la planta ya que son los equipos de mayor tamaño y podrían entorpecer en otro sitio. Junto con la zona de despacho se ubicaron contiguos a la ruta para facilitar las maniobras de ingreso y egreso de camiones.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback				Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 128 de 206		



8.4.1 Interrelaciones

Para el diseño detallado del Layout es preciso determinar las distancias límites que deben existir entre los equipos y para ello, se deben caracterizar los mismos en función de su peligrosidad, funcionalidad u operación.

Para realizar un análisis rápido de la distribución de la planta, se confeccionó una tabla en la que se describen las principales interrelaciones. Una interrelación se define como: "Una condición que afecta la posición relativa o espaciamiento de dos o más objetos de la planta, basado en una lógica o física interacción entre ellos." Siendo un objeto de la planta es algo en ó cerca de la planta, un equipamiento de la planta, el centro de control, la planta completa o algo en los alrededores de la planta (espacios públicos, rutas).


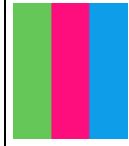
Tabla 8.2. Interrelaciones.

Interrelación			Fuerza				Acción
Entre	Tipo	Muy fuerte	Fuerte	Moderado	Débil		
T 101	T 100, T 104	Conexión			x		Colocar los TK lo más cerca posible y en un extremo de la planta debido a conexión entre ellos y con PTC.
T 100	T 101	Estructural			x		Comparten recinto por contener los mismos fluidos y estar ubicados juntos.
D 204	Resto de las áreas operativas	Seguridad		x			Colocar el secadero lo más alejado posible del resto de las áreas dentro de la planta.
D 204	TK 101	Seguridad	x				Colocar unidades alejadas por posible formación de mezclas explosivas.
T 101	P 104	NPSH		x			Colocar la bomba por debajo del nivel del tanque.
D 204	T 207	Proceso		x			Optimizar longitud de cintas transportadoras.
S 205	T 203	Proceso		x			Disminuir distancia para optimizar potencia requerida de bombas.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 130 de 206

Referencias

Tanque de Agua a tratar	TK 100	Despacho de sales	TK 207
Tanque Skimmer	TK 101	Centrífuga	C 208
Tanque residuos sólidos	TK 102	Unidad de Filtración	UF 301
Celda de Flotación	CF 103	Tanque de Almacenamiento final	TK 302
Tanque de despacho de petróleo	TK 104	Oficinas	Of.
Reactor Precipitación de Sales	R 201	Laboratorio	Lab.
Tanque de Solución hidróxido de Sodio	TK 202	Almacenes	Alm.
Tanque de Solución carbonato de Sodio	TK 203	Estacionamiento	Est.
Secadero de Sales	D 204	Cocina/Comedor	C/C
Silo Almacenamiento carbonato de sodio	S 205	Sanitarios	San.
		Sala de Control	SC

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 131 de 206		

8.4.3 Dimensionamiento de tanques



Para el dimensionamiento de los tanques se hizo uso de la norma A.P.I. 650, que, si bien en ella se establecen los procedimientos para el diseño detallado de los mismos, en esta sección solo se muestran los cálculos que permiten conocer las dimensiones básicas, tales como su diámetro y altura, pues son los datos que resultan de interés para la construcción del Layout. El diseño detallado y la norma citada, se describirán en el Capítulo 9, del presente proyecto.

Para tal fin, se recurre al anexo A del estándar, donde a partir del volumen de un tanque, se ofrecen diferentes alternativas de diámetro y altura. El volumen de dimensionamiento considerado para cada tanque, resulta de adicionar al volumen de operación un 20% de factor de seguridad.

Con los datos recolectados, se elaboró una tabla donde se especifican los tanques que se encuentran dentro de la planta, así como su volumen de operación y diseño, y a partir de este, el diámetro y altura establecido por la norma dicha.

Tabla 8.4. Dimensiones básicas de tanques según A.P.I. 650.


Tanque	Codificación	Volumen de operación [m3]	Volumen de diseño [m3]	Diámetro [m]	Altura [m]
Agua a tratar	TK 100	5000	6000	22	14,4
Tanque Skimmer	TK 101	2000	2545	15	14,4
Tanque residuos sólidos	TK 102	900	1091	10,5	12,6
Despecho de petróleo	TK 104	2250	2863	15	16,2
Solución hidróxido de Sodio	TK 202	450	557	7,5	12,6
Solución Carbonato de Sodio	TK 203	1150	1403	10,5	16,2
Reactor	R 201	45	51	3	7,2
Despacho de sales	TK 207	225	270	6	10,8
Almacenamiento final	TK 302	5000	6000	22	14,4

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 132 de 206	

Para cada uno de los tanques, se realizó el cálculo del recinto de protección que por norma deben de poseer. Dicho recinto debe contener el volumen del tanque más un 10% adicional, y una altura máxima de 1,8 m. A partir de los datos nombrados, se calcula la dimensión del área del recinto, y con ello el lado, pues el área está dada por: $A = L^2$. Siendo A el área de recinto y L el lado, dado que el mismo tiene una forma cuadrada.

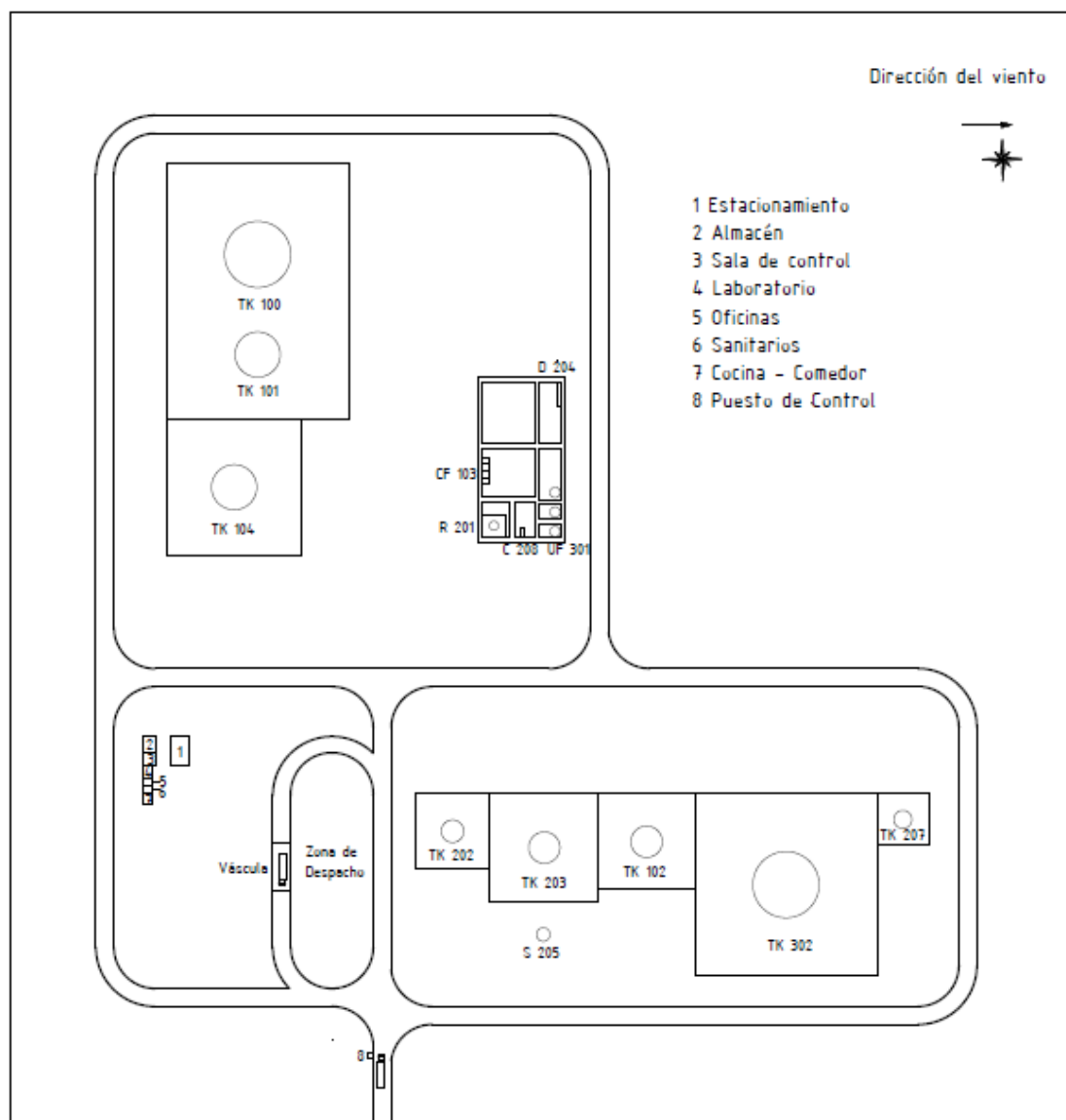
Tabla 8.5. Dimensiones de Recintos de tanques.

Codificación del tanque	Volumen del tanque [m ³]	Volumen del recinto [m ³]	Altura del recinto [m]	Área del recinto [m ²]	Lado del recinto [m]
TK 100	6000	6600	1,8	3667	60,55
TK 101	2545	2800	1,5	1866	43,2
TK 102	1091	1200	1,2	1000	32
TK 104	2863	3150	1,5	2100	45
TK 202	557	612,7	1	612,7	25
TK 203	1403	1544	1,2	1286	36
R 201	51	56,1	1	56,1	7,5
TK 207	270	297	1	297	17,25
TK 302	6000	6600	1,8	3667	60,55

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 133 de 206

8.5 DISEÑO DETALLADO

PTC



Ruta Provincial N° 17

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 134 de 310

8.6 BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes Cátedra Integración IV (2017). *Layout en Plantas*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional del Neuquén.
- Moran, S.(2017). *Process Plan Layout*. Advancing Chemical Engineering Worldwide. Second Edition.
- PEMEX. Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios (2014). *Espaciamientos Mínimos y Criterios para la Distribución de Instalaciones Industriales*. Ciudad de México.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERÍA QUÍMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
Profesor: Spesot, Horacio		JTP: Krumrick, Ezequiel		Ayudante: Silva, Cristian		Página 135 de 310	

9 INGENIERÍA DE DETALLE: TANQUE SKIMMER

9.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los tanques son equipos dentro de la planta sumamente importantes dado que se encuentran en múltiples sectores de la misma. Estos tanques pueden ser de almacenamiento como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización o bien, ser tanques de procesos y formar parte de alguna etapa del mismo.

9.1.1 Partes de un tanque

Un tanque se compone de diversos elementos como se puede apreciar en la Figura 9.1.

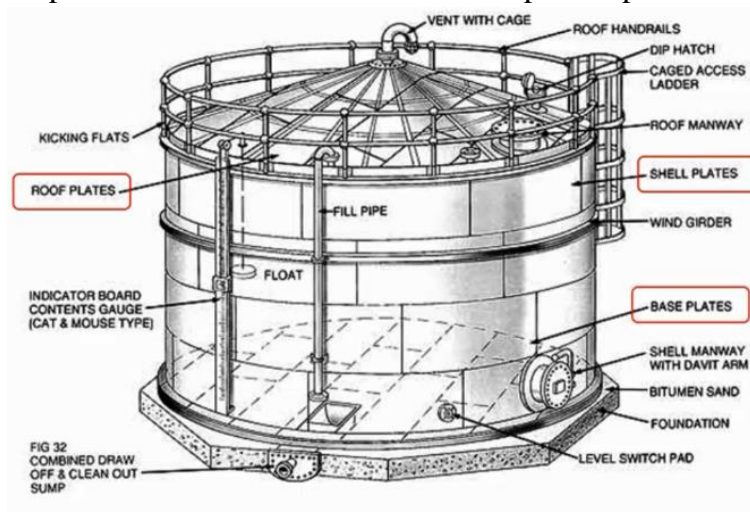


Figura 9.1. Modelo de tanque y sus partes.

Las partes principales se encuentran encuadradas en color rojo y son:

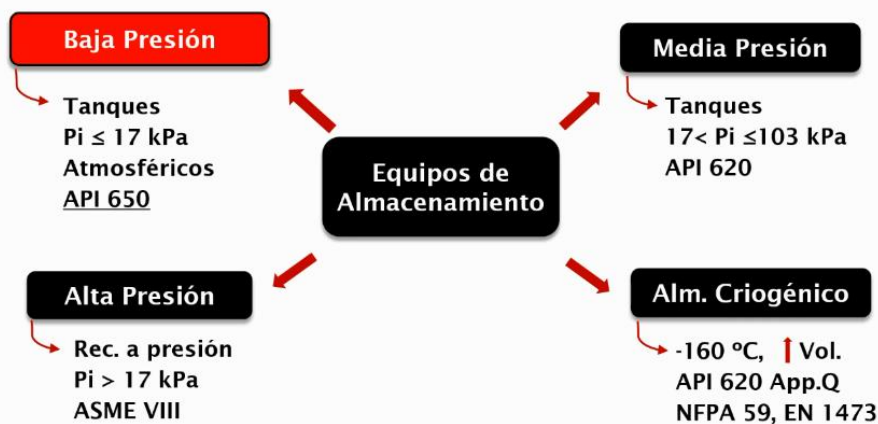
- Cuerpo.
- Techo.
- Fondo.

En la ilustración se puede apreciar también algunos accesorios con los que cuenta un tanque, como lo son las distintas boquillas, escaleras y plataformas, conexiones a tierra, entre otros.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 136 de 310	

9.1.2 Equipos de almacenamiento y códigos aplicables

Es conveniente, antes de continuar, establecer las diferencias entre los distintos equipos para almacenamiento en base al nivel de presión con el que pueden operar. En el esquema debajo se pueden apreciar los distintos equipos de almacenamiento juntos con la descripción de sus respectivas condiciones de operación y la norma aplicable para su diseño.



Esquema 9.1. Equipos de almacenamiento y códigos aplicables.

9.1.2.1 Código A.P.I. 650. Instituto Americano del Petróleo.

El código aplicable para las condiciones de operación de la planta es el estándar A.P.I. 650. Este sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están construidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc, diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de 93 °C (200 °F), y que no se usen para servicios de refrigeración. Este estándar cubre el diseño y cálculo de los elementos constitutivos del tanque. En lista de los materiales de fabricación, se sugieren secuencias en la erección del tanque, recomendación de procedimientos de soldaduras, pruebas e inspecciones, así como lineamientos para su operación.

Dicho código se encuentra dividido en dos grandes apartados:

- *Requerimientos obligatorios*: donde se encuentra el alcance, definiciones y contenidos principales.
- *Anexos*: se comprende de buenas prácticas, recomendaciones y ejemplos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 137 de 310	

Los requerimientos obligatorios están divididos a su vez, en diez secciones que abarcan el proceso completo de la fabricación de un tanque, donde las acciones más importantes para el diseño mecánico son las secciones de: Materiales, Diseño y Fabricación.



Esquema 9.2. Secciones de requerimientos obligatorios de la estándar A.P.I. 650.

Por otro lado, el código A.P.I. 650 cuenta con 27 anexos que cubren los diferentes tipos de techos, las consideraciones para presión interior y exterior, el diseño sísmico y las cargas admisibles en conexiones, entre otras.



Esquema 9.3. Anexos de la estándar A.P.I. 650.

9.1.3 Tipos de tanques

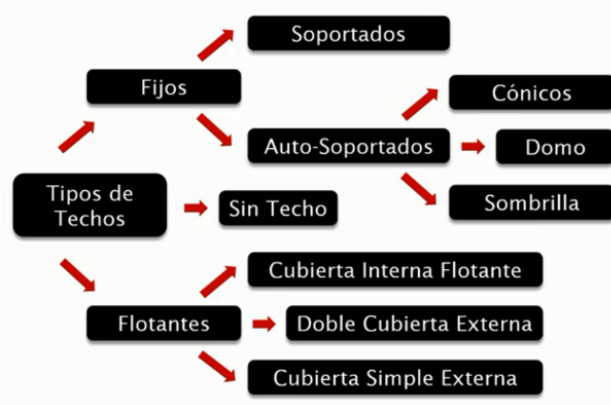
Cualquiera sea su uso o el sector de la planta donde se encuentren, los tanques se clasifican en:

- 1.- Tanques Cilíndricos Horizontales.
- 2.- Tanques Cilíndricos Verticales.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 138 de 310	

Los Tanques Cilíndricos Horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Los Tanques Cilíndricos Verticales permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo, con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.

A su vez, de acuerdo al estándar A.P.I. 650, los tanques cilíndricos verticales se pueden clasificar en función de los distintos tipos de techos dependiendo principalmente de los requerimientos del proceso y del emplazamiento, según se muestra en el *Esquema 9.4*.



Esquema 9.4. Clasificación de tanques cilíndricos verticales según el tipo de techo.

- 1- Techo Fijo: Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diesel, asfalto, petróleo crudo, etc. Debido a que, al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que puede ser altamente peligroso. Los techos fijos a su vez, se clasifican en:
 - Techos auto-soportados.
 - Techos soportados.
- 2- Techo Flotante: Se emplea para almacenar productos con alto contenido de compuestos volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general. Este tipo de techo fue desarrollado para reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reducir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado durante los periodos en que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 139 de 310		

evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente y, al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables.

- 3- Los Tanques sin Techo: Se usan para almacenar productos en los cuales no es importante que éste se contamine o que se evapore a la atmósfera como el caso del agua cruda, residual, contra incendios, etc. El diseño de este tipo de tanques requiere de un cálculo especial del anillo de coronamiento.

En la siguiente figura se muestran los tipos de tanques de techo fijo y flotante.

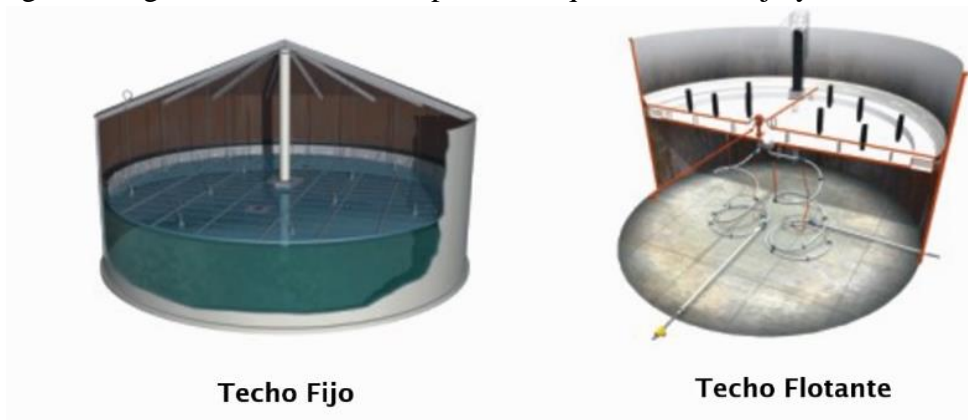




Figura 9.2. Tanques de techo fijo y flotante.

La selección del tanque se realiza en función de los siguientes parámetros:

- Características del líquido.
- Punto de ebullición.
- Presión de operación.
- Temperatura.
- Condiciones de emplazamiento.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 140 de 310	

9.1.4 Selección de materiales

El código no recomienda ni sugiere ningún material para ninguna aplicación en concreto, solamente indica y lista los materiales con los que un tanque de almacenamiento puede construirse y los requerimientos que estos materiales deben cumplir.

Para seleccionar un material para una aplicación en concreto hay que basarse en:

- Mejores prácticas y Lecciones Aprendidas.
- Autores de referencia.
- Publicaciones vigentes (A.P.I., NACE).
- Especificaciones de clientes.
- Especialistas en metalurgia.

A continuación, se listan los materiales más usados con su aplicación.

ESTÁNDAR A.S.T.M. (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS).

A-36.- ACERO ESTRUCTURAL.

Sólo para espesores iguales o menores de 38 mm (1 1/2"). Este material es aceptable y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.

A-131.- ACERO ESTRUCTURAL.

GRADO A para espesor menor o igual a 12.7 mm (1/2 plg)

GRADO B para espesor menor o igual a 25.4 mm (1 plg)

GRADO C para espesores iguales o menores a 38 mm (1-1/2 plg)

GRADO EH36 para espesores iguales o menores a 44.5 mm (1-3/4 plg)

A-283.- PLACAS DE ACERO AL CARBÓN CON MEDIO Y BAJO ESFUERZO A LA TENSIÓN.

GRADO C Para espesores iguales o menores a 25 mm (1 plg). Este material es el más socorrido, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 141 de 310	

A-285.- PLACA DE ACERO AL CARBÓN CON MEDIO Y BAJO ESFUERZO A LA TENSIÓN.

GRADO C Para espesores iguales o menores de 25.4 mm (1 plg). Es el material recomendable para la construcción del tanque (cuerpo, fondo, techo y accesorios principales), el cual no es recomendable para elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con los anteriores.

A-516.- PLACA DE ACERO AL CARBÓN PARA TEMPERATURAS DE SERVICIO MODERADO.

GRADOS 55, 60, 65 y 70. Para espesores iguales o menores a 38mm (1-1/2 plg). Este material es de alta calidad y, consecuentemente, de un costo elevado, por lo que se recomienda su uso en casos en que se requiera de un esfuerzo a la tensión alta, que justifique el costo.


9.1.5 Soldado de materiales

El estándar A.P.I. 650, se auxilia del Código A.S.M.E. sección IX para dar los lineamientos que han de seguirse en la unión y/o soldado de materiales.

El Código A.S.M.E. 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,

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 142 de 310	

eliminando la escoria dejada al aplicar un cordón de soldadura antes de aplicar sobre éste el siguiente cordón.

El tanque deberá ser diseñado de tal forma que todos los cordones de soldadura sean verticales, horizontales y paralelos, para el cuerpo y fondo, en el caso del techo, podrán ser radiales y/o circunferenciales.

9.1.6 Accesorios en los tanques

Los accesorios necesarios para el diseño del tanque son:

- Conexión a tierra
- Boquillas
- Escaleras y Plataformas

9.1.6.1 Conexión a tierra

La conexión a tierra se efectúa para proteger el tanque de las descargas eléctricas originadas por rayos, por campos electrostáticos producidos por formaciones nubosas densamente cargadas o por el fluido dentro del tanque, evitando de esta forma potenciales eléctricos que ocasionen chispas e incendios del producto almacenado.


9.1.6.2 Boquillas

Todos los tanques de almacenamiento deben estar provistos de boquillas para conexiones. Dependiendo del fluido a almacenar, de las facilidades de producción y de la configuración de las líneas de la planta, varían las dimensiones y el número de estas.

A continuación, se enlistan las conexiones mínimas requeridas que deberán ser instaladas en los tanques de almacenamiento.

- Entrada (s) del producto.
- Salida (s) del producto.
- Conexiones de sobrellenado.
- Conexiones de venteo.
- Conexiones para calentamiento o enfriamiento del tanque.
- Conexiones auxiliares.
- Conexiones para indicador y/o control de nivel.
- Entrada (s) de hombre.

En la *Figura 9.3* se muestran algunas de las conexiones nombradas.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 143 de 310

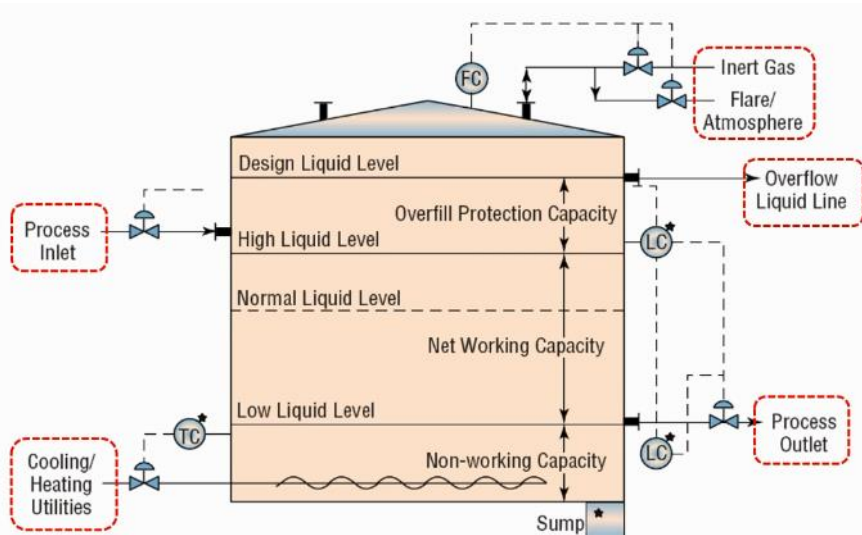


Figura 9.3. Tanque de almacenamiento con sus conexiones.

Dado que los tanques de almacenamiento solo están sometidos a presión atmosférica y a la columna del líquido del tanque, es decir a presiones muy bajas, las conexiones no se calculan, sino que se seleccionan. Las dimensiones mínimas de conexiones se recogen en distintas tablas del código, principalmente para simplificar el diseño y unificar el tanque simplificando el acopio significativamente.

9.1.6.2.1 Boquillas en las paredes del tanque

Las boquillas bridadas y/o roscadas, podrán ser de acuerdo a las *Tablas 9.1, 9.2 y 9.3*. Todas las boquillas de 76 mm (3") de diámetro y mayores deben contar con una placa de refuerzo de acuerdo a lo especificado en la *Tabla 9.1*, con el fin de absorber la concentración de esfuerzos debido a la perforación hecha al tanque y/o a los esfuerzos producidos por la carga que presenta la línea de la boquilla en cuestión, la cual contará con un barreno de 6.3 mm (1/4") de diámetro roscado con cuerda NPT para boquillas menores de 356 mm (14") de diámetro nominal y con dos barrenos para boquillas mayores, con la finalidad de que por ellos salga la acumulación de gases al realizar la soldadura y para que, posteriormente, se realice una prueba de hermeticidad.

Las dimensiones en las tablas son para boquillas instaladas con sus ejes perpendiculares a las placas del tanque. Cuando las boquillas son instaladas con un ángulo diferente de 90° respecto a las placas del tanque en el plano horizontal, estarán provistas de una placa de refuerzo que tenga un ancho de acuerdo a lo especificado en las *Tablas 9.1 (W*

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 144 de 310		

o Do), que se incrementará de acuerdo al corte de las placas del tanque (dimensión Dp) por pasar de circular a elíptica cuando se realiza una instalación angular.

En el caso de que sean boquillas de 76 mm (3") de diámetro, (o menores), que tengan un servicio exclusivo de instrumentación o que no presenten carga debida a la línea, podrán colocarse en un ángulo no mayor de 15° con respecto al plano vertical y no llevarán una placa de refuerzo.

Tabla 9.1. Dimensiones para cuellos de boquillas.

Tamaño de Boquilla	Diámetro Exterior del tubo	Espesor Nominal de la Boquilla Pared del Tubo n	Diámetro Interior de la Placa de Refuerzo DR	Longitud, Lado o Diámetro de la Placa de Refuerzo L=Do	Ancho de la Placa de Refuerzo W	Proyección Exterior Mínimo J	Elevación Mínima al Centro de Boquilla	
							Tipo Regular HN	Tipo Baja C
1219	1219	e	1222	2457	2972	406	1321	1229
1168	1168	e	1171	2356	2845	406	1270	1178
1117	1117	e	1121	2254	2724	381	1219	1127
1067	1067	e	1070	2153	2604	381	1168	1076
1016	1016	e	1019	2051	2483	381	1118	1025
965	965	e	968	1949	2356	356	1067	974
914	914	e	917	1848	2235	356	1016	924
864	864	e	867	1746	2114	330	965	873
813	813	e	816	1645	1994	330	914	822
762	762	e	765	1543	1867	305	864	771
711	711	e	714	1441	1746	305	813	720
660	660	e	663	1340	1625	305	762	670
610	610	12.7	613	1257	1524	305	711	629
559	559	12.7	562	1156	1403	279	660	578
508	508	12.7	511	1054	1283	279	610	527
457	457	12.7	460	952	1162	254	559	476
406	406	12.7	409	851	1035	254	508	425
356	356	12.7	359	749	914	254	457	375
305	324	12.7	327	685	838	229	432	343
254	273	12.7	276	584	717	229	381	292
203	219	12.7	222	483	590	203	330	241
152	168	11	171	400	495	203	279	200
102	114	8.5	117	305	387	178	229	152
76	89	7.6	92	267	343	178	203	133
51	60	5.5	63	(—)	(—)	152	178	89
38	48	5.1	51	(—)	(—)	152	152	76
76	102	cople	105	286	362	(—)	229	143
51	73	cople	76	(—)	(—)	(—)	178	76
38	56	cople	59	(—)	(—)	(—)	152	76
25	40	cople	43	(—)	(—)	(—)	127	76
19	33	cople	36	(—)	(—)	(—)	102	76



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 145 de 310		

Tabla 9.2. Dimensiones para cuellos de boquillas, tubos, placas y soldaduras.

Espesores del cuerpo y placa refuerzo t y T	Espesor Mínimo de Pared de Tubos de Boquillas Bridadas n	Diámetro Máximo Dp igual al Diámetro Exterior de Tubos mas	Ancho del Filete de Soldadura b	Ancho del Filete de Soldadura (A)	
				Boquillas Mayores de 2 pulg. L - Do	Boquillas de 2 pulg. o Menores W
4.76	12.7	15.87	4.76	6.35	6.35
6.35	12.7	15.87	6.35	6.35	6.35
7.93	12.7	15.87	7.93	6.35	6.35
9.52	12.7	15.87	9.52	6.35	6.35
11.11	12.7	15.87	11.11	6.35	6.35
12.7	12.7	15.87	12.7	6.35	7.93
14.28	12.7	19.05	14.28	6.35	7.93
15.87	12.7	19.05	15.87	7.93	7.93
17.46	12.7	19.05	17.46	7.93	7.93
19.05	12.7	19.05	19.05	7.93	7.93
20.63	12.7	19.05	20.63	9.52	7.93
22.22	12.7	19.05	22.22	9.52	7.93
23.81	12.7	19.05	23.81	9.52	7.93
25.4	12.7	19.05	25.4	11.11	7.93
26.98	14.28	19.05	26.98	11.11	7.93
28.57	14.28	19.05	28.57	11.11	7.93
30.16	15.87	19.05	30.16	12.7	7.93
31.75	15.87	19.05	31.75	12.7	7.93
33.33	17.46	19.05	33.33	12.7	7.93
34.92	17.46	19.05	34.92	14.28	7.93
36.51	19.05	19.05	36.51	14.28	7.93
38.1	19.05	19.05	38.1	14.28	7.93
39.68	20.63	19.05	38.1	14.28	7.93
41.27	20.63	19.05	38.1	15.87	7.93
1.68	22.22	19.05	38.5	15.87	7.93
44.45	22.22	19.05	38.1	15.87	7.93

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 146 de 310		

Tabla 9.3. Dimensiones para bridas de boquillas.

Tamaño de Boquilla	Espesor Mínimo de Brida Q	Diámetro Exterior de la Brida A	Diámetro de la Cara Realzada D	Diámetro de Círculo de Barrenos C	Número de Agujeros	Diámetro del Agujeros	Diámetro de los Tornillos	Diámetro del Agujero		Diámetro Mínimo del Hub Punto de Soldadura	
								SORF Diámetro exterior del Tubomas B	Tipo Cuello Soldable B1	Tipo Deslizable (SORF) E	Tipo Cuello Soldable E1
1219	69.85	1511	1359	1422	44	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1168	68.26	1460	1295	1365	40	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1117	66.67	1403	1245	1314	40	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1067	66.67	1346	1194	1257	36	41.27	38.1	6.35	a	b	c
1016	63.5	1289	1143	1200	36	41.27	38.1	6.35	a	b	c
965	60.32	1238	1092	1149	32	41.27	38.1	6.35	a	b	c
914	60.32	1168	1022	1085	32	41.27	38.1	6.35	a	b	c
864	58.73	1111	959	1029	32	41.27	38.1	6.35	a	b	c
813	57.15	1060	908	978	28	41.27	38.1	6.35	a	b	c
762	54.05	984	857	914	28	34.92	31.75	6.35	a	b	c
711	52.38	927	794	864	28	34.92	31.75	6.35	a	b	c
660	50.8	870	743	806	24	34.92	31.75	6.35	a	b	c
610	47.62	813	692	749	20	34.92	31.75	4.82	a	b	c
559	46.03	749	641	692	20	34.82	31.75	4.82	a	b	c
508	42.86	698	584	635	20	31.75	28.57	4.82	a	b	c
457	39.68	635	533	577	16	31.75	28.57	4.82	a	b	c
406	47.62	597	470	540	16	28.57	25.4	4.82	a	b	c
356	34.92	533	413	476	12	28.57	25.4	4.82	a	b	c
305	31.75	483	381	432	12	25.4	22.22	3.3	a	b	c
254	30.16	406	324	362	12	25.4	22.22	3.3	a	b	c
203	28.57	343	270	298	8	22.22	19.05	2.54	a	b	c
152	25.4	279	216	241	8	22.22	19.05	2.54	a	b	c
102	23.81	229	157	190	8	19.05	15.87	1.52	a	b	c
76	23.81	190	127	152	4	19.05	15.87	1.52	a	b	c
51	19.05	152	92	121	4	19.05	15.87	1.78	a	b	c
38	17.46	127	73	98	4	15.87	12.7	1.78	a	b	c

9.1.6.2.2 *Boquillas en el techo*

Las boquillas del techo pueden estar conforme a las *Tablas 9.4 y 9.5*

Las boquillas bridadas o roscadas con diámetro de 152 mm (6") y menores no requieren placa de refuerzo.

Se recomienda que todas las boquillas no sean mayores de 305 mm (12") de diámetro, excepto las entradas hombre.

Los sumideros y conexiones en el fondo tendrán particular atención para el relleno y compactación del suelo para prevenir asentamientos irregulares del tanque, así como para las conexiones y soportes, que tendrán que ser calculadas para confirmar la resistencia del arreglo contra las cargas estáticas y dinámicas, así como de flexión y esfuerzos permisibles.

Las conexiones y arreglos mostrados pueden variar para llevar a cabo la utilidad y servicio de los mismos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 147 de 310	

Tabla 9.4. Dimensiones para boquillas bridadas en el techo (mm).

Dimensión Nominal de la Boquilla	Diámetro Exterior del Tubo	Diámetro de Agujero del Techo y Placa de Refuerzo Dp	Proyección Mínima de la Boquilla Hn	Diámetro Exterior de la Placa Dr
305	324	330	152	610
254	273	279	152	559
203	219	225	152	457
157	168	171	152	381
102	114	117	152	279
76	89	92	152	229

Tabla 9.5. Dimensiones para boquillas roscadas y coples en el techo.

Dimensión Nominal de la Boquilla	Diámetro Nominal del Cople	Diámetro del Agujero del Techo y Placa de Refuerzo Dp	Diámetro Exterior de la Placa de Refuerzo Dr
305	305	362	610
254	254	152	559
203	203	251	457
152	152	191	381
102	102	136	279
76	76	104	229
2	51	76	178
38	38	59	127
25	25	44	114
19	19	36	102

9.1.6.2.3 Entrada de hombre y accesorios

Entradas de hombre horizontales y verticales

Los tanques de almacenamiento 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. Los registros que se coloquen en la pared del tanque deberán estar acorde con las *Tablas 9.6, 9.7, 9.8, 9.9 y 9.10.*

Las entradas hombre contarán con una placa de refuerzo, la cual tendrá dos barrenos de 6.3 mm de diámetro con cuerda NPT para prueba, quedando éstos sobre las líneas de centro verticales u horizontales y abiertos a la atmósfera. En caso de que la entrada hombre se encuentre localizada en el techo, se habilitará de acuerdo a la *Tabla 9.10.*

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 148 de 310		

Tabla 9.6. Espesor del cuello, tapa plana y brida de la entrada de hombre (mm).

Altura Máxima del Tanque	Presión Hidrostática (Kg/cm ²)	Espesor Mínimo de la Tapa Plana				Espesor mínimo del cuello y brida del registro			
		Registro de 508	Registro de 610	Registro de 762	Registro de 914	Registro de 508	Registro de 610	Registro de 762	Registro de 914
6400	0.64	7.93	9.52	11.11	12.7	6.35	6.35	7.93	9.52
8230	0.82	9.52	11.11	12.7	14.28	6.35	7.93	9.52	11.11
9754	0.97	9.52	11.11	14.28	15.87	6.35	7.93	11.11	12.7
12192	1.21	11.11	12.7	15.87	17.46	7.93	9.52	12.7	14.28
13716	1.37	12.7	14.28	15.87	19.05	9.52	11.11	12.7	15.87
16459	1.64	12.7	14.28	17.46	20.63	9.52	11.11	14.28	17.46
19812	1.98	14.28	15.87	19.05	22.22	11.11	12.7	15.87	19.05
22860	2.28	15.87	17.46	20.63	23.81	12.7	14.28	17.46	20.63

Tabla 9.7. Dimensiones de entradas de hombre de 508 mm.

Espesor Mínimo del Cuello del Registro y Placa de Refuerzo t y T	Radio Aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro Interior de Armado del Registro		Espesor Mínimo del Cuello Ensamblado
		Longitud Diámetro L =Do	Ancho W	Diámetro Constante del Anillo Hembra IDr	Diámetro Constante del Anillo Macho IDp	
4.76	4.76	1168	1397	575	508	4.76
6.35	6.35	1168	1397	571	508	6.35
7.93	7.93	1162	1391	568	508	6.35
9.52	9.52	1156	1378	565	508	6.35
11.11	11.11	1149	1365	562	508	6.35
12.7	12.7	1143	1359	559	508	6.35
14.28	14.28	1136	1346	556	508	6.35
15.87	15.87	1136	1346	552	508	6.35
17.46	17.46	1130	1333	549	508	6.35
19.05	19.05	1123	1327	546	508	6.35
20.63	20.63	1117	1314	542	508	6.35
22.22	22.22	1124	1314	539	508	9.52
23.81	22.22	1124	1321	536	508	11.11
25.4	25.4	1130	1327	533	508	11.11
26.98	25.4	1137	1333	530	508	11.11
28.57	25.4	1137	1333	527	508	12.7
30.16	25.47	1143	1340	524	508	14.28
31.75	25.4	1143	1340	521	508	15.87
33.33	25.4	1149	1346	517	508	15.87
34.92	25.4	1149	1346	514	508	17.46
36.51	25.4	1156	1352	511	508	17.46
38.11	25.4	1156	1352	508	508	19.05

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 149 de 310

Tabla 9.8. Dimensiones de entradas de hombre de 610 mm.

Espesor Mínimo del Cuello del Registro y placa de refuerzo t y T	Radio Aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro Interior de Armado del Registro		Espesor Mínimo del Cuello Ensamblado
		Longitud Diámetro L=Do	Ancho W	Diámetro Constante del Anillo Hembra IDr	Diámetro Constante del Anillo Macho IDp	
4.76	4.76	1372	1651	676	610	4.76
6.35	6.35	1372	1644	667	610	6.35
7.93	7.93	1365	1638	670	610	6.35
9.52	9.52	1359	1625	667	610	6.35
11.11	11.11	1359	1625	663	610	6.35
12.7	12.7	1352	1613	660	610	6.35
14.28	14.28	1346	1600	657	610	6.35
15.87	15.87	1340	1594	654	610	6.35
17.46	17.46	1333	1581	574	610	6.35
19.05	19.05	1333	1581	648	610	6.35
20.63	19.05	1327	1314	644	610	6.35
22.22	22.22	1327	1568	641	610	7.93
23.81	22.22	1327	1568	638	610	11.11
25.4	25.4	1340	1581	635	610	11.11
26.98	25.4	1340	1581	632	610	11.11
28.57	25.4	1346	1587	629	610	12.7
30.16	25.4	1346	1587	625	610	14.28
31.75	25.4	1352	1593	616	610	14.28
33.33	25.4	1352	1593	619	610	15.87
34.92	25.4	1359	1600	616	610	15.87
36.51	25.4	1359	1600	613	610	17.46
38.1	25.4	1365	1606	610	610	19.05

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 150 de 310		

Tabla 9.9. Dimensiones de entradas de hombre de 762 mm.

Espesor Mínimo del Cuello del Registro y Placa de Refuerzo t y T	Radio Aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro interior de armado del registro		Espesor mínimo del cuello ensamblado
		Longitud diámetro L=Do	Ancho W	Diámetro constante del anillo hembra IDr	Diámetro constante del anillo macho IDp	
4.76	4.76	1676	2013	829	762	4.76
6.35	6.35	1676	2013	826	762	6.35
7.93	7.93	1670	2000	822	762	7.93
9.52	9.52	1670	2000	819	762	7.93
11.1	11.1	1657	1981	816	762	7.93
12.7	12.7	1657	1981	813	762	7.93
14.2	14.2	1651	1969	810	762	7.93
15.8	15.8	1632	1956	806	762	7.93
17.4	17.4	1638	1949	803	762	7.93
19	19	1638	1949	800	762	7.93
20.6	19	1632	1937	797	762	7.93
22.2	22.2	1632	1937	794	762	7.93
23.8	22.2	1632	1937	791	762	11.1
25.4	25.4	1645	1949	787	762	11.1
26.9	25.4	1645	1949	784	762	11.1
28.5	25.4	1651	1956	781	762	12.7
30.2	25.4	1651	1956	778	762	14.2
31.7	25.4	1657	1962	775	762	14.2
33.3	25.4	1657	1962	772	762	15.8
34.9	25.4	1664	1969	768	762	15.8
36.5	25.4	1664	1969	765	762	17.4
38.1	25.4	1670	1975	762	762	19


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 151 de 310		

Tabla 9.10. Dimensiones de entrada de hombre de 914 mm.

Espesor mínimo del cuello del registro y placa de refuerzo t y T	Radio aproximado R	Placa de refuerzo		Diámetro interior de armado del registro		Espesor mínimo del cuello ensamblado
		Longitud diámetro L=Do	Ancho W	Diámetro constante del anillo hembra IDr	Diámetro constante de ancho del anillo macho IDP	
4.76	4.76	1981	2381	981	914	4.76
6.35	6.35	1981	2381	978	914	6.35
7.93	7.93	1975	2369	975	914	7.93
9.52	9.52	1975	2369	972	914	9.52
11.1	11.1	1962	2350	968	914	9.52
12.7	12.7	1962	2350	965	914	9.52
14.2	14.2	1956	2337	962	914	9.52
15.8	15.8	1937	2324	959	914	9.52
17.4	17.4	1943	2318	956	914	9.52
19	19	1943	2311	953	914	9.52
20.6	19	1937	2305	949	914	9.52
22.2	22.2	1937	2305	946	914	9.52
23.8	25.4	1937	2305	943	914	11.1
25.4	25.4	1949	2318	940	914	11.1
26.9	25.4	1949	2318	937	914	11.1
28.5	25.4	1956	2324	921	914	12.7
30.1	25.4	1956	2324	930	914	14.2
31.7	25.4	1926	2330	927	914	14.2
33.3	25.4	1962	2330	924	914	15.8
34.9	25.4	1969	2337	921	914	15.8
36.5	25.4	1969	2337	918	914	17.4
38.1	25.4	1975	2318	914	914	19

Tabla 9.11. Dimensiones de entrada de hombre sobre el techo.

Diámetro Nominal	Diámetro Interior del Cuello ID	Diámetro Exterior de la Tapa Plana	Diámetro Círculo de Barrenos Db	Número de Tornillos	Diámetro del Empaque		Diámetro del Agujero en el Techo y Placa de Refuerzo Dp	Diámetro Exterior de la Placa de Refuerzo Dr
					Interior	Exterior		
610	610	762	698	20	610	762	625	1168
508	508	660	597	16	508	660	524	1067

9.1.6.2.4 Venteos

Los tanques de almacenamiento cuentan con una boquilla exclusiva para venteo, la que debe ser diseñada y calculada, con la finalidad de que dentro del tanque no se genere presión interna al ser llenado o vaciado, el cual debe colocarse de ser posible, en la parte más alta del tanque.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)		
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 152 de 310		

9.1.6.2.5 Drenes y sumideros

Los tanques de almacenamiento también deberán contar con una boquilla por lo menos para el drenado de lodos, la cual podrá estar al ras del fondo, dirigidas a un sumidero o por debajo del tanque, como se muestran en las *Tablas 9.12 y 9.13*.

Los sumideros y conexiones en el fondo tendrán particular atención para el relleno y compactación del suelo para prevenir asentamientos irregulares del tanque, así como para las conexiones y soportes, que tendrán que ser calculadas para confirmar la resistencia del arreglo contra las cargas estáticas y dinámicas, así como de flexión y esfuerzos permisibles.


Las conexiones y arreglos mostrados pueden variar para llevar a cabo la utilidad y servicio de los mismos, por lo que el usuario aprobará dichos arreglos que el fabricante proporcionará.

Tabla 9.12. Dimensiones para sumideros (mm).

Diámetro Nominal del Tubo	Diámetro del Sumidero A	Profundidad del Sumidero B	Distancia del Centro del Tubo de la Pared del Tanque (mm) C	Espesor de las Placas del Sumidero t	Espesor Mínimo del Tubo	Espesor Mínimo de la Boquilla
152	1524	914	2590	11.11	6.35	10.97
102	1219	610	2057	9.52	6.35	8.56
76	914	457	1524	9.52	6.35	7.62
51	610	305	1067	7.93	5.54	5.54

Tabla 9.13. Conexiones por debajo del fondo.

Diámetro Nominal de la Boquilla D	B/2	E	F	G	H	J	K	L	W/2	T	ST
1219	1067	813	1219	1473	2032	305	1829	3404	1448	15.8	ST8WF18.0
1067	991	711	1067	1372	1778	305	1727	3200	1372	15.8	ST8WF18.00
914	914	635	914	1270	1549	305	1626	2997	1295	15.8	ST8WF18.0
762	838	533	762	1143	1295	305	1499	2743	1219	15.8	ST6WF13.5
610	762	457	610	1041	1067	305	1397	2540	1143	15.8	ST6WF13.5
457	686	381	508	940	889	305	1295	2337	1067	15.8	ST6WF13.5
305	610	305	457	864	762	305	1194	2159	991	15.8	ST6WF13.5
230	559	254	406	8133	660	305	1143	2057	940	15.8	ST6WF8.5
152	533	229	356	762	584	305	1117	1981	914	15.8	ST6WF8.5

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 153 de 310	

9.1.6.3 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.

9.1.6.3.1 Requerimientos para plataformas y pasillos

- 1- Todos los componentes deben ser metálicos.
- 2- El ancho mínimo del piso debe ser de 610 mm (24”).
- 3- Todo el piso debe ser de material antiderrapante.
- 4- La altura del barandal a partir del piso debe ser de 1,067 mm (42”).
- 5- El máximo espacio entre el suelo y la parte inferior del espesor de la placa del pasillo debe ser de 6.35mm (1/4”).
- 6- La altura del barandal central es aproximadamente la mitad de la distancia desde lo alto del pasillo a la parte superior del barandal.
- 7- La distancia máxima entre los postes del barandal debe ser de 1168 mm (46”).
- 8- La estructura completa tendrá que ser capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1,000 lb), aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto del barandal.
- 9- Los pasamanos deben estar en ambos lados de la plataforma e interrumpidos donde sea necesario para un acceso.
- 10- Los corredores de los tanques que se extienden de un lado al otro del suelo o a otra estructura deberán estar soportados de tal manera que tenga un movimiento relativo libre de las estructuras unidas por los corredores; ésta puede estar acompañada por una firme atadura del corredor a los tanques, además del uso de una junta corrediza o de dilatación en el puente de contacto entre el corredor y el otro tanque (este método permite que en caso de que un tanque sufra ruptura o algún movimiento brusco, el otro no resulte dañado).

9.1.6.3.2 Requerimientos para escaleras

- 1- Todas las partes de la escalera deben ser metálicas.
- 2- El ancho mínimo de las escaleras debe ser de 610 mm (24”).
- 3- El ángulo máximo entre las escaleras y una línea horizontal debe ser de 50°.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 154 de 310	

- 4- El ancho mínimo de los peldaños debe ser de 203mm (8"). La elevación debe ser uniforme a todo lo largo de la escalera.
- 5- Los peldaños deben estar hechos de rejilla o material antiderrapante.
- 6- La superior de la reja debe estar unida al pasamanos de la plataforma sin margen y la altura, medida verticalmente desde el nivel del peldaño hasta el borde del mismo de 762 a 864mm (30" a 34").
- 7- La distancia máxima entre los postes de la rejilla medidos a lo largo de la elevación de 2,438mm (96").
- 8- La estructura completa debe ser capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1,000 lb), y la estructura del pasamanos debe ser capaz de soportar una carga de 90Kg. (200 lb), aplicada en cualquier dirección y punto del barandal.
- 9- Los pasamanos deben estar colocados en ambos lados de las escaleras rectas; éstos deben ser colocados también en ambos lados de las escaleras circulares cuando el claro entre cuerpo-tanque y los largueros de la escalera excedan 203mm (8").
- 10- Las escaleras circunferenciales deben estar completamente soportadas en el cuerpo del tanque y los finales de los largueros apoyados en el piso.

9.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La adecuada definición de las condiciones de diseño es fundamental para el diseño satisfactorio. En algunos casos, la dificultad que se puede presentar en un diseño, no radica en el cálculo mecánico propiamente, sino en la definición de las condiciones de diseño. Algunos requerimientos de diseño que deben ser tomados en consideración son:

- Presión y temperatura de operación.
- Temperatura ambiente.
- Temperatura del fluido.
- Requerimientos por presión.
- Cargas a las que está sometido el tanque como peso propio, cargas vivas o muertas.
- El nivel de líquido.
- La corrosión admisible.
- Los requerimientos externos de viento, sismo, nieve.
- La capacidad del tanque: diámetro, altura, altura neta.
- Consideraciones de fabricación.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 155 de 310	

Así también se deberá establecer la magnitud y dirección de las cargas externas que pudieran ocasionar deformaciones en el tanque, con el fin de diseñar los elementos involucrados con este. Las cargas que por lo general gobiernan el diseño de este tipo de tanques son:

- El peso del fluido en operación.
- La carga sísmica.
- Presión del viento que depende del emplazamiento.

El sobre espesor por corrosión que se especifica, se debe incluir en el cuerpo, fondo, techo y estructura, y solo se agrega al final del cálculo de cada uno de los elementos del tanque.

9.2.1 Diseño y cálculo del cuerpo (casco) del tanque

La pared del tanque es el componente más grande y crítico de los tanques de almacenamiento, representando aproximadamente el 60% del material total utilizado.

La pared del tanque se construye a partir de placas comerciales con dimensiones de ancho y largo estándar según la procedencia del material. Las placas se disponen de forma tal que las uniones verticales se encuentran desfasadas unas de otras a fin de evitar concentración de esfuerzos.

Existen dos métodos para calcular el espesor de las virolas que componen la envolvente de un tanque:

- Para tanques con un diámetro inferior a 61 m, el método de cálculo de los espesores de virola es el *Método del Pie*.
- Para tanques con un diámetro superior a 61 m, el método de diseño utilizado para el cálculo de los espesores de las virolas es el *Método del Punto Variable*.

En el desarrollo de este proyecto se emplea el primer método dado que no se cuenta con tanques de mayores diámetros. De todas maneras, cada método aplica dos procedimientos de diseño del espesor: por condición de diseño en base al nivel del líquido, tomando la densidad relativa del producto a almacenar; y por condiciones de prueba hidrostática considerando el mismo nivel de diseño, pero utilizando la densidad relativa del agua. La opción más desfavorable permite obtener el espesor óptimo.

La carga actuando sobre una pared de almacenamiento y que define su espesor es la presión hidrostática del fluido, es decir, el nivel máximo del líquido en operación normal y la columna de líquido debido a la prueba hidrostática.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 156 de 310		

El espesor de la pared del cuerpo requerido para resistir la carga hidrostática será mayor que el calculado por condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática, pero en ningún caso será menor a lo que se muestra en la *Tabla 9.14*.

Tabla 9.14. Espesores mínimos de virola.

Díámetro nominal del tanque, D (m)	Espesor nominal de virola (mm)
D < 15	5
15 < D ≤ 36	6
36 < D ≤ 60	8
D > 60	10

El esfuerzo calculado de la carga hidrostática para cada anillo no debe ser mayor que el permitido por el material y su espesor no debe ser menor que el de los anillos subsecuentes. Además, el ancho nominal mínimo de cada virola debe ser de 1800 mm. El esfuerzo máximo permisible de diseño (S_d) y de prueba hidrostática (S_t), se muestra en la *Tabla 9.15*.

Tabla 9.15. Materiales más comunes y esfuerzos permisibles (Kg/cm²)

ESPECIFICACION	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO CEDENCIA	ESFUERZO A LA TENSION	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
ASTM					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	A,B,CS	2390	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	1630	1750
A-131	EH36	2580	4990	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2950	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2670	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-537	1	3510	4920	1970	2110
A-537	2	4220	5620	2250	2410
A-633	C,D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 157 de 310		

9.2.1.1 Cálculo de espesores del cuerpo por el método del pie

Con este método se calcula el espesor requerido de la pared del tanque, por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, considerando una sección transversal ubicada a 304,8 mm (1 pie) por debajo de la unión de cada anillo.

Tal como se advirtió, este método sólo es aplicable en tanques con un diámetro igual o menor a 60 m (200pies).

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA$$

Ecuación 9.1

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

Ecuación 9.2

Donde:

t_d = Espesores por condiciones de diseño, [mm].

t_t = Espesor por prueba hidrostática, [mm].

D = Diámetro nominal del tanque, [m]


H = Altura de diseño del nivel del líquido, [m].

G = Densidad relativa del líquido a almacenar o del agua para cálculo por prueba hidrostática.

CA = Corrosión permisible, [mm].

S_d = Esfuerzo permisible por condiciones de diseño, [MPa].

S_t = Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática, [Mpa].

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 158 de 310		

9.2.2 Diseño y cálculo del fondo del tanque

Las placas de fondo de tanques son fabricadas normalmente con un espesor menor al utilizado para el cuerpo. Esto es posible debido a que el fondo se encuentra soportado por una base de hormigón que soporta el peso de la columna de líquido. Por ello, la función principal del fondo es de lograr un recipiente hermético que impida la filtración del líquido por la base del tanque.

Los requisitos de los que depende el diseño del fondo son los siguientes:

- La cimentación sobre la que apoya el tanque.
- El método empleado para evacuar el producto desde el interior del tanque.
- El grado de sedimentación de sólidos en suspensión.
- La corrosión del fondo y el tamaño del tanque.

Todas las chapas de fondo deben tener un espesor corroído no menor de 6 mm ($t_{\min} = 6$ mm) y todas las placas rectangulares (placas de fondo sobre la que descansa el cuerpo que tiene forma final rectangular) deben tener un ancho nominal no menor de 1800 mm. Si se incluye el sobreespesor de corrosión definido para la chapa del fondo, el espesor final de la misma queda definido por la *Ecuación 9.3*.

$$t_{f, \text{adop}} = t_{f, \text{min}} + CA_f$$

Ecuación 9.3.

Donde,

$t_{f, \text{adop}}$ = espesor adoptado, [mm].

$t_{f, \text{min}}$ = espesor mínimo admisible, [mm].

CA_f = corrosión admisible para el fondo del tanque, [mm].

Las chapas de fondo de suficiente tamaño se disponen de forma que, cuando se corten, al menos un ancho de 50 mm se proyecta fuera del cuerpo en forma de vuelo.

El espesor de la chapa anular no debe ser menor que el espesor mayor determinado en la *Tabla 9.16* para una tensión de diseño del producto (más cualquier sobreespesor de corrosión indicado) o para una tensión de diseño de prueba hidrostática.


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 159 de 310	

Tabla 9.16. Espesor del anillo anular en función del espesor y esfuerzo de la primera virola.

Espesor de la virola de fondo, t_s (mm)	Esfuerzo sobre la virola de fondo (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t_s \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t_s \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t_s \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t_s \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t_s \leq 45$	9	13	16	19

$$S_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{t_s - CA}$$

Ecuación 9.4.

$$S_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{t_s}$$

Ecuación 9.5.

Esfuerzo sobre 1er virola= máx. (Sd, St)

Donde,

t_s = Espesores adoptado para la virola de fondo, [mm].

D = Diámetro nominal del tanque, [m]

H = Altura de diseño del nivel del líquido, [m].

G = Densidad relativa del líquido a almacenar o del agua para cálculo por prueba hidrostática.

CA = Corrosión permisible, [mm].

Sd = Esfuerzo permisible por condiciones de diseño, [MPa].

St = Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática, [Mpa].

9.2.3 Diseño y cálculo del techo del tanque

Como se mencionó anteriormente, los tanques de almacenamiento pueden clasificarse por el tipo de cubierta en: de techos fijos, de techos flotantes y sin techo. Dentro de los techos fijos se tienen tres tipos: cónicos, de domo y de sombrilla, los cuales pueden ser autosoportados o soportados por estructura (para el caso de techos cónicos de tanques de gran diámetro).

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 160 de 310	

El techo cónico es una cubierta con la forma y superficie de un cono recto. El tipo domo es un casquete esférico, y el de tipo sombrilla, es un polígono regular curvado por el eje vertical.

Los techos autoportados ya sean tipo cónico, domo, o sombrilla, tiene la característica de estar apoyados únicamente en su periferia, calculados y diseñados para que su forma geométrica, en combinación con el espesor mínimo requerido, absorban la carga generada por su propio peso más las cargas vivas, a diferencia de los techos soportados que contarán con una estructura que admita dichas cargas.

Independientemente de la forma o el método de soporte, los techos son diseñados para soportar una carga viva de por lo menos, 1.76 Kg / cm² (25lb / pie²), más la carga muerta ocasionada por el mismo.

Las placas del techo deben tener un espesor mínimo nominal de 5 mm (3/16"). Un espesor mayor puede ser requerido para el caso de techos autoportados. La corrosión permisible puede ser incluida al espesor calculado.


Todos los miembros estructurales internos y externos de techos soportados tendrán un espesor mínimo nominal de 4,32 mm (0.17") en cualquier componente de estos.

Las placas del techo se sujetarán al ángulo superior del tanque (anillo de coronamiento), con un cordón de soldadura continuo sólo por la parte superior, aunque éste sea soportado.

9.2.3.1 Diseño y cálculo de techos cónicos autoportados

Los techos cónicos, autoportados son empleados en tanques relativamente pequeños. Este consiste en un cono formado de placas soldadas a tope, el cual, por su forma física, además de confirmar mediante un análisis de flexión basado en la teoría de placas, es capaz de sostenerse sin ningún elemento estructural y únicamente soportado en su periferia por el perfil de coronamiento. Estos techos son diseñados y calculados para tanques que no exceden de un diámetro de 18 m, (60 pies), y cualquier dimensión mayor requiere el uso de una estructura capaz de soportar al techo.

Los techos cónicos autoportados deben tener como máximo una pendiente de 9:12 (37°), y como mínimo 2:12 (9.5°), con respecto a la horizontal. El espesor está determinado por la siguiente expresión, pero no debe ser menor de 5 mm (3/16"), y no mayor de 12 mm (1/2").

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 161 de 310		

$$T_t = \frac{D}{4800 \text{Sen} \theta}$$

Ecuación 9.6

Donde:

T_t = Espesor mínimo requerido, [cm].

D = Diámetro del tanque, [cm].

θ = Ángulo con respecto a la horizontal, [grados].

Este espesor debe ser incrementado en la siguiente relación cuando la suma de las cargas muertas más las cargas vivas excedan 220 Kg /m (45lb / pie), más cualquier corrosión permisible.

$$\sqrt{\frac{C_m + C_v}{220}}$$

Ecuación 9.7

Donde:

C_m = Carga muerta, [Kg /m²].

C_v = Carga viva, [Kg /m²].

Para este tipo de techos, se recomienda un espesor de 5 mm (3/16”) a 10 mm (3/8”), y en base a estos espesores se obtiene la pendiente más conveniente, dentro de las limitantes especificadas con anterioridad, estos con la finalidad de que el techo no sea demasiado pesado y a su vez presente dificultad para su fabricación.

El armado del techo sigue los mismos requerimientos y procedimientos que el fondo; estos son generalmente fabricados por placas rectangulares soldadas a tope, partiendo de un disco cuyo radio es la hipotenusa del cono en el cual se distribuirán las placas. A dicho disco se le practica un corte para que el techo, al ser izado, cierre y tome forma de cono, de acuerdo con lo indicado por la *Figura 9.4*.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	
					Página 162 de 310

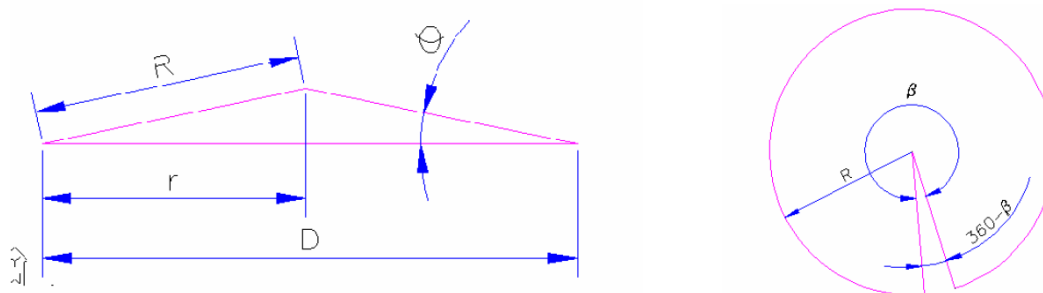


Figura 9.4. Vistas de un techo cónico.

$$\gamma = 360 - 360r / R$$

Ecuación 9.8

Donde:

D = Diámetro de asientos del cono, [cm.].

r = D/2

R = Radio del disco o hipotenusa del cono, [cm.].

θ = Angulo del cono con respecto a la horizontal, [grados].

β = Angulo de corte del disco

Estos techos por sus dimensiones son armados al nivel del piso, para posteriormente ser levantados y colocados sobre el tanque, lo cual puede ser por sectores por totalmente armado.

9.2.3.2 Diseño de techos tipo domo y sombrilla autosoportados

Los techos tipo domo se caracterizan por ser un casquete esférico el cual está formado por placas soldadas a traslape o a tope. Este tipo de tapas son poco usuales debido a que tienen un proceso de fabricación muy laborioso ya que cada placa y segmento tienen que formarse con el radio de abombado, incrementado de esta manera su costo y complejidad. Los techos de tipo sombrilla son una variedad del tipo domo el cual solo conserva el abombado sobre el eje vertical ya que sobre el eje circunferencial tiene semejanza con el tipo cónico. Las tapas por lo general se fabrican a partir de gajos para facilitar el abombado de las placas.

Nota: No se mostrará el cálculo utilizado para su diseño dado que no se cuenta con tanques de este tipo en la planta.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 163 de 310		

9.2.3.3 Diseño de techos cónicos soportados

Los techos cónicos soportados se usan generalmente para tanques de gran diámetro, los cuales consisten en un cono formado a partir de placas soldadas a traslape, soportadas por una estructura, compuesta de columnas, traveses y largueros.

La pendiente del techo debe ser de 6,35 en 304,8mm (1/4 en 12 plg) o mayor si lo especifica el usuario, pero lo recomendable es una pendiente de 19 en 305mm (3/4 en 12 plg) ó menor si la especifica el usuario.

El diseño y cálculo de la estructura involucra los esfuerzos de flexión y corte, producidos por una carga uniformemente repartida ocasionada por el peso de las placas del techo, traveses y largueros, debido a lo cual las placas del techo se consideran vigas articuladas.

Las columnas para soportar la estructura del techo se seleccionan a partir de perfiles estructurales, o puede usarse tubería de acero. Cuando se usa tubería de acero, debe proveerse ésta de drenes y venteos; la base de la misma será provista de topes soldados al fondo para prevenir desplazamientos laterales.

Las uniones de la estructura deben estar debidamente ensambladas mediante tornillos, remaches o soldadura, para evitar que las uniones puedan tener movimientos no deseados.

Nota: No se mostrará el cálculo utilizado para su diseño dado que no se cuenta con tanques de este tipo en la planta.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 164 de 310	

9.2.4 Diseño y cálculo del perfil de coronamiento

El perfil de coronamiento de los tanques es de suma importancia porque, además de soportar el peso del techo, rigidiza al cuerpo evitando una posible deformación u ovalamiento en la parte superior del mismo, además de lograr un sello entre el cuerpo y el techo.

Se mostrará aquí, el cálculo del perfil de coronamiento para techos cónicos autoportados solamente, dado que como se ha dicho, no se encuentran en la planta tanques con un tipo distinto de techos.

El área de la sección transversal para el perfil sobre el cual descansa un techo cónico autoportado se determina por la siguiente ecuación:

$$A = \frac{D^2}{432,000 \sin \theta}$$

Ecuación 9.9

Donde:

A = Área de la sección transversal, [cm²].

D = Diámetro de asiento del cono, [cm].

θ = Ángulo con respecto a la horizontal, [grados].

9.2.5 Cálculo de pesos

A continuación, se expresan las ecuaciones que permiten el cálculo de los pesos de las diferentes partes que componen el tanque, cuyos diseños fueron detallados con anterioridad.

9.2.5.1 Cuerpo del tanque

$$W_s = \rho_{\text{acero}} \cdot \pi \cdot D \cdot \Sigma t \cdot h_v$$

Ecuación 9.10

Donde:

W_s = Peso del cuerpo del tanque, [Kg].

ρ_{acero} = Densidad del acero al carbono A-283-C, [Kg/m³].

D = Diámetro del tanque, [m].

t = Espesor de virola, [m].

h_v = Altura de virola, [m].

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 165 de 310	

9.2.5.2 Fondo del tanque

$$W_f = \rho_{\text{acero}} \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot t_{f, \text{adoptado}}$$

Ecuación 9.11

Donde:

W_f = Peso del fondo del tanque, [Kg]

ρ_{acero} = Densidad del acero al carbono A-283-C, [Kg/m³]

D= Diámetro del tanque, [m].

$t_{f, \text{adoptado}}$ = Espesor de virola adoptado para el fondo, [m].

9.2.5.3 Techo del tanque

$$W_r = \rho_{\text{acero}} \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} \cdot R \cdot t_{r, \text{adoptado}}$$

Ecuación 9.12

Donde:

W_r = Peso del techo del tanque, [Kg]

ρ_{acero} = Densidad del acero al carbono A-283-C, [Kg/m³]



D= Diámetro del tanque, [m].

R= generatriz, [m].

$t_{r, \text{adoptado}}$ = Espesor de virola adoptado para el techo, [m].

9.2.5.4 Peso total del tanque

El peso total del tanque estará dado simplemente por la suma del peso del cuerpo, el fondo, techo e internos del mismo.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 166 de 310	

9.2.6 Carga por sismo

Si bien la zona en la que se encuentra la planta no se caracteriza por poseer actividad sísmica, es preciso realizar el cálculo para conocer la carga por sismo de manera de poseer una mayor seguridad en el diseño.

Estos movimientos telúricos provocan dos tipos de reacciones sobre el tanque, las cuales son:

- a) Cuando la alta frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento lateral del terreno sobre el que está situado el tanque, posteriormente la cantidad de líquido que el recipiente contiene, se mueve al unísono con el cuerpo del tanque.
- b) Cuando la baja frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento de la masa del líquido contenido, ocasionando oleaje dentro del tanque.

El movimiento lateral de las masas, genera fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque, ocasionando la inestabilidad del conjunto, que, multiplicado por el brazo de palanca respecto del fondo, originan un momento de volcadura, produciendo una compresión longitudinal, provocando la deformación del cuerpo.

9.2.6.1 Momento de volteo

El momento de volteo deberá determinarse mediante la siguiente expresión:

$$M = ZI(C_1W_sX_s + C_1W_rH_t + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2)$$

Ecuación 9.13

Donde:

M = Momento de volteo, [Kg – m].

Z = Coeficiente sísmico.

I = Factor de rigidez = 1 (para todos los tanques, aunque puede aumentarse hasta un valor máximo de 1,5)

C₁, C₂ = Coeficiente de fuerza lateral sísmica.

W_s = Peso total del cuerpo del tanque, [Kg].


X_s = Altura desde el fondo del cuerpo del tanque al centro de gravedad de este, [m].

W_r = Peso total del techo del tanque, [Kg].

H_t = Altura total del cuerpo del tanque, [m].

W₁ = Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve al unísono con el cuerpo del tanque, [Kg].

X₁ = Altura desde el fondo del cuerpo del tanque al centroide de la fuerza

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 167 de 310		

lateral sísmica aplicada a W_1 , [m].

W_2 = Peso efectivo de la masa contenida por el tanque que se mueve en el primer oleaje, [Kg].

X_2 = Altura desde el fondo del tanque al centroide de la fuerza sísmica lateral aplicada a W_2 , [m].

Tabla 9.17. Coeficiente sísmico.

Zona Sísmica	Coeficiente Sísmico
A	0.1875
B	0.375
C	0.75
D	1.0

9.2.6.1.1 *Masa efectiva contenida en el tanque*

Las masas efectivas W_1 y W_2 se determinarán multiplicando W_T por las relaciones W_1/W_T y W_2/W_T respectivamente obtenidas del *Gráfico 9.1* y de la relación D/H .

Donde:

W_t = Peso total del fluido del tanque, [Kg].

D = Diámetro nominal del tanque [cm].

H = Altura de diseño del líquido, [cm].

Las alturas desde el fondo del tanque a los centroides de las fuerzas sísmicas laterales, aplicadas a W_1 y W_2 , (X_1 y X_2), se determinan multiplicando H por las relaciones X_1/H y X_2/H respectivamente obtenidas del *Gráfico 9.2* y de la relación D/H .

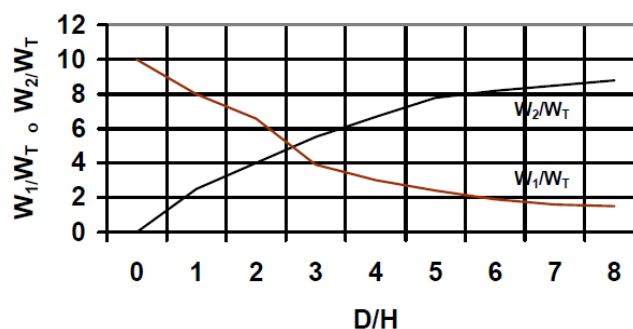


Gráfico 9.1. Masa efectiva.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 168 de 310	

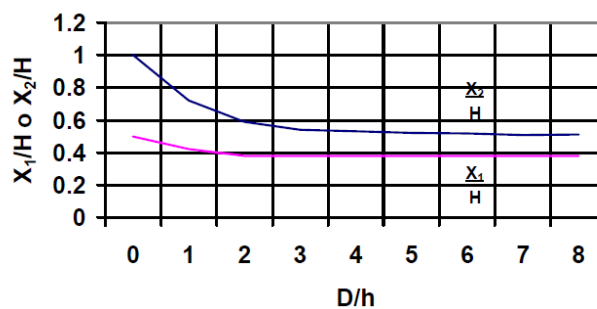


Gráfico 9.2. Centroide de la fuerza sísmica.

9.2.6.1.2 Coeficientes de fuerzas laterales

El coeficiente C_1 de fuerza lateral será 0,24.

El coeficiente C_2 de la fuerza lateral será determinado por la función del periodo natural T y las condiciones del terreno donde se sitúa el tanque.

Cuando $T < 4,5$

$$C_2 = 0.3S/T$$

Ecuación 9.14

Cuando $T > 4,5$

$$C_2 = 1.35S/T^2$$

Ecuación 9.15

Donde:

S = factor de amplificación Tabla 10.18

T = periodo natural de la ondulación en segundos = $L D^{0,5}$.

K = factor determinado en el *Gráfico 10.3* y la relación D/H .

Los terrenos se clasifican en tres tipos, de acuerdo con su rigidez.

I) Terrenos firmes; como tepetate, arenisca medianamente cementada, arcilla muy compacta o suelo con características similares.

II) Suelo de baja rigidez; como arenas no cementadas o limos de mediana o alta compacidad, arcillas de mediana compacidad o suelos de características similares.

III) Arcillas blandas muy compresibles.


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 169 de 310	

Tabla 9.18. Factor de amplificación del lugar.

Tipo de suelo	Factor de Amplificación
I	1
II	1
III	1,5

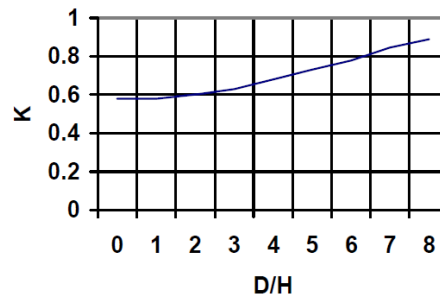


Gráfico 9.3. Valor del factor K.

9.2.6.2 Resistencia a la volcadura

La resistencia al momento de volcadura respecto del fondo del tanque podrá ser prevenido por el peso del cuerpo del tanque y mediante anclaje.

Para tanques sin anclaje, el peso de la porción del líquido contenido puede ser usado para resistir la volcadura.

$$W_L = 0,29369 t_f, \text{adoptado} \sqrt{F_{by} G H}$$

Ecuación 9.16

Donde:

W_L = peso máximo del líquido contenido en el tanque que puede ser usado para resistir la volcadura, de la circunferencia del cuerpo, [Kg – m].

$T_{f, \text{adoptado}}$ = espesor de la placa del fondo bajo el tanque, [cm].

F_{by} = esfuerzo mínimo de cedencia especificado del fondo, [Kg / cm²].

G = Densidad relativa del líquido.

9.2.6.3 Compresión del cuerpo

9.2.6.3.1 Tanques no anclados

Para tanques sin anclaje la fuerza máxima de compresión (b) en el fondo del cuerpo, puede determinarse mediante lo siguiente:

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 170 de 310	

- Cuando $M / [D^2(W_T + W_L)] < 0,785$, b se calcula aplicando la ecuación 10.17:

$$b = (W_t) + 1.273M / D^2$$

Ecuación 9.17.

- Cuando $0,785 < M / [D^2(W_T + W_L)] < 1,5$, b se calcula del valor obtenido a partir de la siguiente figura:

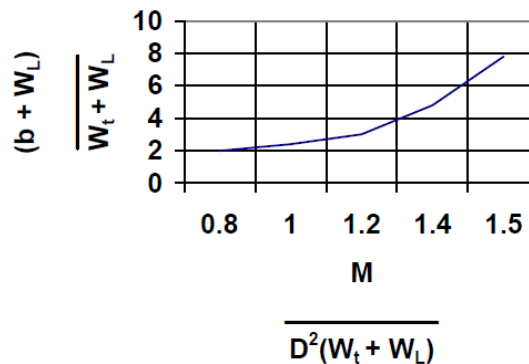



Gráfico 9.4. Fuerza de compresión.

- Cuando $1,5 < M / [D^2(W_T + W_L)] < 1,57$, b se calcula aplicando la ecuación 10.18:

$$\frac{b + W}{W_t + W_L} = \frac{1.49}{\left(1 - \frac{0.637M}{D^2(W_t + W_L)}\right)^{0.5}}$$

Ecuación 9.18.

- Cuando $1,57 < M / [D^2(W_T + W_L)]$, el tanque se considera estructuralmente inestable.
- Cuando el tanque necesite ser anclado, la fuerza máxima de compresión longitudinal en el fondo del cuerpo, será determinada por:

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 171 de 310	

$$b = W_t + (12731M / D^2)$$

Ecuación 9.19.

Donde:

b = fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo, [Kg /m].

W_t = peso del cuerpo del tanque y la porción de techo, [Kg. Por metro de circunferencia del cuerpo].

9.2.6.3.2 Compresión máxima permisible del cuerpo

El esfuerzo máximo de compresión longitudinal en el cuerpo será determinado de acuerdo a lo siguiente:

- Cuando $0,0002278GHD^2/t^2 > 10^6$

$$F_a = 170676000t / D$$

Ecuación 9.20.

- Cuando $0,0002278GHD^2/t^2 < 10^6$

$$F_a = 68270400t / D + 1546\sqrt{(GH)}$$

Ecuación 9.21.

Donde:


t = Espesor del anillo inferior del tanque sin corrosión permisible, [cm].

F_a = Esfuerzo máximo de compresión longitudinal permisible, [Kg / cm²], (menor de 0.5 F_{ty}).

F_{ty} = Esfuerzo mínimo de cedencia especificado del anillo inferior, [Kg / cm²]

Siempre y cuando $2,02333 b/t$ no exceda el esfuerzo máximo permisible de compresión, el tanque se considera estructuralmente estable, por lo que es capaz de resistir un movimiento sísmico, pero si esto no fuese cumplido, es necesario tomar alguna de las siguientes medidas:

- a) Incrementar el espesor del cuerpo (t).
- b) Reducir la relación de esbeltez, incrementado el diámetro y reduciendo la altura.
- c) Anclar el tanque.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 172 de 310		

Si el espesor del primer anillo calculado para resistir el momento de volcadura por sismo, es mayor que el espesor requerido para prueba hidrostática, excluyendo cualquier corrosión permisible, el espesor calculado para cada anillo superior por prueba hidrostática, será incrementado en la misma proporción bajo un análisis especial hecho para determinar el momento de volcadura por sismo y los esfuerzos correspondientes en la parte bajan de cada anillo superior.

9.2.6.3.3 Tanques anclados

Cuando el anclaje es necesario, el tanque debe diseñarse de acuerdo a la siguiente expresión que representa la resistencia mínima a la volcadura:

$$\left(\frac{1.2731M}{D^2} \right) - W_t$$

Ecuación 9.22.

Deben ser analizados esfuerzos debidos a las fuerzas de anclaje en el cuerpo del tanque en los puntos de sujeción de las anclas.

Cuando se decida el uso de anclas, éstas tendrán un diámetro mínimo de 25,4 y el esfuerzo máximo permisible para cualquier pieza del conjunto de las anclas, no debe exceder de los siguientes valores: Para anclas, el esfuerzo será de 0,8 veces el esfuerzo de cedencia (el esfuerzo de cedencia mínimo de 0,6 multiplicado por 1,33).


9.2.7 Presión de viento

Todos los tanques de almacenamiento se diseñan y calculan para lograr una estabilidad total. El momento de volteo producido por la constante carga del viento, la cual debe ser considerada de por lo menos 146 Kg /m² (30 lb / pie²) en la superficie del plano vertical, 88 Kg /m² (lb / pie²), en las áreas proyectadas de las superficies del cilindro y 73 Kg /m² (15lb / pie²) en áreas proyectadas de superficies cónicas y doble curvadas. Lo que se determina en base a una velocidad de viento de 160 Km/ h (100 mph). En el caso de que el tanque se localice en una zona geográfica con una velocidad mayor, se ajustarán las presiones multiplicando el valor especificado por el resultado de la siguiente relación:

$$(v / 161)^2$$

Donde:

V = velocidad del viento, [Km/ h].

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 173 de 310	

9.2.7.1 Momento de volteo

El momento de volteo producido por el viento se considera una carga uniformemente repartida sobre una viga empotrada en un extremo, por lo que el momento será igual a:

$$M = \frac{P_v D_{\max} (H_t)^2}{2}$$

Ecuación 9.23

Donde:

M = Momento de volteo, [Kg – m].

P_v = Presión de viento, [Kg /m²].

D_{máx.} = Diámetro exterior del tanque incluyendo líneas de tuberías, [m].

HT = altura total del tanque incluyendo el techo, [m].

Para tanques que no estén anclados, el momento de volteo por presión de viento no debe exceder de la siguiente expresión:

$$M < \frac{2}{3} \left(\frac{WD}{2} \right)$$

Donde:

W = Peso muerto del tanque disponible para resistir el levantamiento [Kg], menos cualquier corrosión permisible, menos simultáneamente el levantamiento por condiciones de presión interna sobre el techo.

D = diámetro nominal del tanque, [m].

Cuando la relación anterior sea menor o igual al momento de volteo, se tendrá que anclar el tanque. La carga de tensión de diseño para cada ancla, se determinará como sigue:

$$t_B = \left(\frac{4M}{dN} \right) - \left(\frac{W}{N} \right)$$

Ecuación 9.24.


Donde:

t_B = Carga de tensión por ancla, [Kg].

d = diámetro del círculo de anclas, [m].

N = número de anclas.

Las anclas deben estar espaciadas a un máximo de 3,048 mm. (10 pies).

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 174 de 310	

9.3 DISEÑO DEL TANQUE SKIMMER

Para el diseño del tanque Skimmer, se toma en consideración la norma A.P.I. 650, tal y como se ha explicado con anterioridad. Sin embargo, además de lo establecido por esta norma, acerca de las dimensiones y materiales de construcción, también es preciso diseñar y especificar algunos otros elementos constituyentes que son característicos de este tanque, dado que el mismo no es simplemente un tanque de almacenamiento, sino, de proceso cuyo objetivo principalmente es lograr la separación de los hidrocarburos del agua (además de algunos sólidos).

9.3.1 Velocidad de sedimentación

La separación de crudo y agua en el tanque Skimmer se produce por efecto gravitacional, aprovechando la diferencia de densidades de ambos fluidos. El agua por ser el fluido más pesado de ambos, sedimenta en la parte inferior del tanque, mientras que las partículas de crudo permanecen en la parte superior del mismo. Este fenómeno se rige por la ley de Stokes, la cual da la velocidad de sedimentación de agua (Ecuación 9.25), cuando esta se mantiene constante, situación que se logra luego de que la fuerza de impulsión, resultante entre la fuerza de flotación y la fuerza gravitacional, iguale a la fuerza de fricción.

$$V_S = \frac{2g}{9} \frac{r^2(\rho_p - \rho_l)}{\mu}$$

Ecuación 9.25.

Donde:

V_S = Velocidad de asentamiento, [cm/s].

g = aceleración de la gravedad, [cm/s²].

r = radio de la burbuja de crudo, [cm].

ρ_p = densidad del fluido pesado, [g/cm³].

ρ_l = densidad del fluido liviano, [g/cm³].

μ = viscosidad del medio continuo, [P].

Para la aplicación de la Ecuación de Stokes, se dan las siguientes condiciones de operación (Tabla 9.19) y propiedades fisicoquímicas de los fluidos (Tabla 9.20).

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 175 de 310	

Tabla 9.19. Condiciones de operación para el Tanque Skimmer.

Temperatura [°C]	20
Presión [Kg/cm ²]	1,033
Caudal por pronóstico(*) [m ³ /d]	5000
Caudal de diseño(**) [m ³ /d]	6000

(*) El caudal por pronóstico fue el calculado para el dimensionamiento de la planta, con la estadística de la demanda y proyección de consumo en el Capítulo 2.

(**) El caudal de diseño es el calculado considerando el caudal por pronóstico, aumentando este en un 20% por razones de seguridad.

Tabla 9.20. Propiedades fisicoquímicas de los fluidos.


Propiedades fisicoquímicas de los fluidos	Agua	Crudo
Densidad (*) [g/cm ³]	1	0,9
Viscosidad (*) [cP]	1	10-15
Diámetro de burbuja [μm]	500	130

(*) Propiedad tomada a la Temperatura de operación (20°C).

Aplicando entonces la *Ecuación 9.25*, resulta:

$$V_s = 0,07 \text{ cm/s (2,52 m/h).}$$

Esta velocidad representa la velocidad de sedimentación del agua para la separación crudo-agua, considerando las propiedades fisicoquímicas de ambos fluidos, por lo cual se la utiliza para realizar una primera aproximación acerca de las dimensiones del tanque.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 176 de 310	

9.3.2 Área

El área aproximada del tanque se obtiene haciendo la relación entre el caudal de diseño y la velocidad de sedimentación calculada en el inciso anterior.

$$A = \frac{Q}{V_s}$$

Ecuación 9.26

Donde:

A= Área del tanque, [m²].

Q= Caudal del tanque, [m³/s].

V_s= Velocidad de sedimentación, [m/s].

Reemplazando con los datos en la *Ecuación 9.26* se obtiene:

$$A = 100 \text{ m}^2$$

9.3.3 Dimensiones

El diámetro para un cilindro se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$


Ecuación 9.27

El diámetro obtenido a partir de la *Ecuación 9.27*, para un área de 100 m², es de:

$$D = 11,2 \text{ m.}$$

Ya se mencionó que este diámetro calculado es solo una aproximación, ya que representa el diámetro que se precisa para la separación crudo-agua teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas expresadas en la *Tabla 9.20*. Es por ello, que para el diseño del tanque se adoptará un diámetro algo mayor, para asegurarse de una separación efectiva.

Haciendo uso de la norma A.P.I. 650, Anexo A-1a, se adopta un diámetro (D) de 15 m y una altura (H) de 14,4 m. Para estas dimensiones, la capacidad del tanque según dicha norma es de 2545 m³.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 177 de 310	

9.3.4 Velocidad ascensorial de crudo

La velocidad ascensorial de crudo es la velocidad con que el crudo asciende a través del tanque. Para calcular esta velocidad basta con aplicar la *Ecuación 9.28*, donde se hace el cociente entre el caudal de diseño, y el área calculada con el diámetro adoptado.

$$Va = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 9.28.

Donde,

Va= Velocidad ascensorial de crudo, [m/h].

Q= Caudal de diseño, [m³/h].

A= Área del tanque [m²].

Reemplazando se tiene entonces, una velocidad ascensorial de crudo de **1,4 m/h**.

9.3.5 Tiempo de residencia

El tiempo espacial o tiempo de residencia (TR) es un parámetro utilizado para caracterizar los tanques Skimmer, que expresa el tiempo necesario para tratar un volumen de corriente de alimentación igual al volumen del tanque. Se calcula fácilmente dividiendo el volumen del tanque por el caudal de alimentación que entra al mismo.

$$TR = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 9.29.

Donde,



TR= Tiempo de residencia, [h].

V= Volumen del tanque, [m³].

Q= Caudal de diseño, [m³/h].

Considerando los parámetros de diseño calculados hasta el momento, el tiempo de residencia de los fluidos dentro del tanque es de **10,18 h**.

A partir de este valor obtenido, se puede concluir que es un tiempo de residencia óptimo para que los fluidos permanezcan en el interior del tanque (en condiciones de régimen estacionario), lo cual significa que las dimensiones del tanque son las adecuadas para lograr la separación deseada.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 178 de 310	

9.3.6 Material de construcción

Ya se ha dicho con anterioridad, que el estándar A.P.I. 650 cubre los aspectos relacionados con el diseño y cálculo de los elementos constitutivos del tanque. Sin embargo, no recomienda ni sugiere los materiales con los que el mismo debe ser construido, sino que dichos materiales solo se encuentran enlistados. Esta lista de materiales se encuentra en la *Sección 9.1.5: Selección de Materiales*.

Para el diseño del tanque Skimmer se escogerá Acero al Carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión, Grado C, cuya codificación es A-283-C. Los datos de los esfuerzos permisibles de este material, son extraídos de la *Tabla 9.15: Materiales más comunes y esfuerzos permisibles*, los cuales son:

- Esfuerzo de diseño (Sd): 1410 Kg/cm².
- Esfuerzo de prueba (St): 1580 Kg/cm².

9.3.7 Espesores

9.3.7.1 Cuerpo del tanque

Para el cálculo del espesor del cuerpo del tanque se aplica el método del pie explicado con anterioridad en la *Sección 9.2.1.1*. Para ello, se especifican algunos parámetros adoptados en la *Tabla 9.21*.

Tabla 9.21. Condiciones de diseño para el espesor del cuerpo del tanque.

Diámetro del tanque [m]	15
Altura del tanque [m]	14,4
Densidad relativa	1
Material	A-283-C
Esfuerzo de diseño [Mpa]	138,27
Esfuerzo de Prueba Hidrostática [Mpa]	154,9
Sobre espesor por corrosión [mm]	2
Altura de virola [m]	2
Espesor mínimo de virola [mm]	6

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 179 de 310	

Con los datos de la *Tabla 9.21* y las *Ecuaciones 9.1* y *9.2*, se calculan los espesores por condiciones de diseño (td) y por prueba hidrostática (tt). Los resultados obtenidos se indican en la *Tabla 9.22*.

Tabla 9.22. Espesores de virola para el diseño del cuerpo del Tanque Skimmer.

Virola	Espesor por condición de diseño (td) [mm]	Espesor por prueba hidrostática (tt) [mm]	Espesor adoptado (t) (*) [mm]
1	9,495	6,689	10
2	8,432	5,740	10
3	7,369	4,791	8
4	6,306	3,985	8
5	5,243	2,894	6
6	4,179	2,087	6
7	3,116	0,996	6

(*) El espesor adoptado en todos los casos corresponde al espesor comercial inmediatamente superior al mayor espesor entre el espesor por diseño y por prueba hidrostática, pero nunca menor al espesor de virola mínimo especificado en la tabla 9.1.

9.3.7.2 Fondo del tanque

Para el cálculo del espesor del fondo del tanque, se precisa del dato acerca del esfuerzo por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, sobre la primera virola, los cuales, se calculan mediante las *Ecuaciones 9.4* y *9.5*. De estos valores resultantes, se elige el más desfavorable y se recurre a la *Tabla 9.16* para determinar el espesor mínimo requerido de la virola. A este valor requerido se le adiciona el sobreespesor por corrosión y finalmente, se adopta el valor de espesor comercial inmediatamente por encima de este.



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 180 de 310		

Tabla 9.23.Datos de diseño para el fondo del tanque Skimmer.

Esfuerzo permisible por condiciones de diseño (Sd) [MPa]	129,544
Esfuerzo permisible por prueba hidrostática (St) [MPa]	103,635
Corrosión permisible (CA) [mm]	2
Espesor mínimo requerido (tf,min) [mm]	6
Espesor adoptado (tf,adoptado) [mm]	8

9.3.7.3 Techo del tanque

El tanque Skimmer a diseñar debe ser de tipo cónico autosoportado, dado que es el techo que le corresponde según lo establecido por la norma A.P.I 650 ($D < 60$ pies).

Para su diseño se adopta una pendiente recomendada por la norma citada, y para el cálculo del espesor se hace uso de la *Ecuación 9.6*, de la *Sección 9.2.3.1: Diseño y cálculo de techos cónicos autosoportados*. Los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 9.24*.


Tabla 9.24.Datos de diseño del techo del tanque Skimmer.

Pendiente adoptada [°]	30
Corrosión permisible (CA) [mm]	2
Espesor mínimo requerido (tt,min) [mm]	6,25
Espesor adoptado (tt,adoptado) [mm]	10

9.3.8 Diseño de internos

A fines de incrementar la eficiencia de la separación del crudo con el agua, se agregan al tanque, cuatro internos, comúnmente denominados, sombreros chinos, los cuales benefician el proceso logrando una mejor distribución de la alimentación, aumentando de esta manera el aprovechamiento del espacio del tanque.

El diseño y dimensiones de los mismos pueden visualizarse en los planos encontrados en la sección anexa provista para tal fin.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 181 de 310		

9.3.9 Detalles Constructivos

9.3.9.1 Cálculo de conexiones

Respecto a las conexiones instaladas en la pared del tanque de diámetro mayor a tres pulgadas, deben con una placa de refuerzo de acuerdo a lo indicado en la *Tabla 9.25*. Las boquillas de diámetro igual o menor a tres pulgadas, como las de instrumentación, salida de sólidos, salida de petróleo y toma muestra, no requieren placa de refuerzo.

En el techo se contará con una boquilla para venteo y dos más para instrumentación. Debido a que todas las boquillas ubicadas en el techo son de diámetro menor a 6 pulgadas, no requieren placa de refuerzo.

En la *Tabla 9.25* y *9.26* pueden observarse todas las boquillas encontradas en el cuerpo y techo del tanque, respectivamente. Cabe aclarar que las boquillas de salida de agua son 4, a fines de lograr una salida más uniforme.

Tabla 9.25.Boquillas instaladas en el cuerpo del tanque.

Dimensión	A	B	C	D	E	F	G	H
Diámetro [pulg]	8	4	4	8	30	3	2	3
Diámetro [mm]	203,2	101,6	101,6	203	762	76,2	50,8	76,2
Diámetro ext	219	114	114	219	762	89	60	89
Espesor nominal	12,7	8,5	8,5	12,7		7,6	5,5	7,6
DR	171	171	63	222	765	105		36
L=Do	400	400		483	1543	286		
W	395	395		590	1867	362		
Elevación mínima al Centro de la boquilla	279	279	178	330	864	229		102

Tabla 9.26.Boquillas instaladas en el techo del tanque.

Dimensión	D	F
Dimensión Nominal de la boquilla [mm]	203	76
Diámetro exterior del tubo [mm]	219	89
Diámetro del Agujero del Techo [mm]	225	92

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 182 de 310		

Tabla 9.27. Referencias de boquillas.

Codificación	Especificación
A	Alimentación
B	Salida de Agua
C	Salida de Petróleo
D	Venteo
E	Entrada de hombre
F	Instrumentación
G	Saca muestra
H	Purga

9.3.9.2 Protección Catódica

En el tanque debe suministrarse con ánodos de sacrificio para protección catódica. Se deberá definir el número de ánodos requeridos para una vida útil mínima de 3 años y de acuerdo con la norma.

9.3.9.3 Protección anticorrosiva



Toda la superficie interior del tanque debe estar recubierta de un tratamiento anticorrosivo por aplicación de un proceso de arenamiento al blanco y un posterior recubrimiento con pintura epoxi.

De manera similar, la protección de la superficie exterior se realiza con arenado y recubrimiento con pintura, pero en este caso, debe ser esmalte alquídico.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 183 de 310		

9.4 BIBLIOGRAFÍA

- American Petroleum Institute (1998). *Welded Steel Tanks for Oil Storage* (API 650).
- Arce, C. (2015). *Diseño Automático de Tanques de Acero con Techo fjo, según API 650*. Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de la Universidad de Sevilla. Sevilla.
- Arveng Training and Engineering (2010). *API 650. Tanques de Almacenamiento*.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial (2005). *Uso de Skimmers*. Gobierno de Canarias: Manual Operativo. Plan Específico de Contaminación
- Mosquera, M. y Rodriguez, D.(2019). *Optimización de las facilidades de producción*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Norma Inglesa. *Diseño y cálculo de Tanques de Almacenamiento*.
- Perez, N. (2017). *Propuesta metodológica para el diseño y operación de instalaciones de separación y procesamiento de crudo*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Perry, H. *Manual del Ingeniero Químico*. Sexta Edición. Ed. Mc.Graw Hill.
- Revelo, M. (2015). *Diseño de Tanques usados en la separación del agua de formación para el proceso de reinyección*. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Quito, Ecuador.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 184 de 310	

10 INGENIERÍA DE DETALLE: DISEÑO DE FILTROS

10.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El objetivo fundamental de la filtración es eliminar o separar los sólidos en suspensión, SS, de un agua, haciéndola pasar a través de un material poroso filtrante.

Se pueden diferenciar dos tipos de filtración: la superficial y la que se basa en la utilización de materiales granulares. La filtración superficial se realiza a través de medios porosos tipo membranas. Estas membranas pueden ser consideradas microtamices, con diámetros de poro o luz de malla entre 10 y 100 μ . Se pueden encontrar fabricadas en materiales plásticos o en metal. Las materias en suspensión para ser eliminadas deben tener un tamaño mayor que el diámetro del poro del filtro. La acumulación de sólidos en la superficie de la membrana llega a formar una torta, que también colabora en la filtración.

La filtración a través de material granular, por ejemplo, lechos de arena, se basa en la capacidad de retención de sólidos en el seno o volumen del lecho filtrante, aunque como es obvio también puede darse eliminación superficial simultáneamente. Se diferencian dos tipos de filtración en medio granular:

- Filtración lenta
- Filtración rápida

Para que una filtración de este tipo sea eficaz se requiere que los sólidos puedan penetrar profundamente dentro del lecho y no bloquearlo en superficie. Por otra parte, es preciso seleccionar un material filtrante con una granulometría y espesor de lecho tales que el filtrado alcance la calidad deseada.

Aunque el mecanismo de la filtración superficial es relativamente claro y simple, el de la filtración granular no lo es tanto.

La retención por tamizado es el principal mecanismo responsable de la eliminación de los sólidos en suspensión en la filtración a través de lecho granular:

- **Tamizado mecánico:** Las partículas de mayor tamaño que los poros del medio filtrante son retenidas mecánicamente. Si se considera, por ejemplo, un diámetro de material filtrante de 0,150 mm el poro intersticial será del orden de 20 μ . Este tamaño de poro es muy aceptable para eliminar los sólidos en suspensión presentes en un agua, bien sea bruta o sedimentada. Además del tamizado en superficie se da

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 185 de 310	

el mismo fenómeno en el interior del lecho granular. Los huecos entre partículas del lecho filtrante se van rellenando y cada vez son más pequeños. Llega un momento en que la partícula sólida encuentra un poro por el que no pasa y queda retenida.

Sin embargo, existen otros mecanismos que también tienen influencia, aunque sus efectos sean de menor importancia y puedan quedar enmascarados por el de tamizado. Se trata de los mecanismos de **transporte** de las partículas hasta la superficie del material filtrante y mecanismos de **fijación** a su superficie.

Durante el **transporte** de los sólidos en suspensión a través del lecho pueden interactuar los siguientes mecanismos:

- a) **Sedimentación:** El lecho filtrante se puede considerar como un conjunto de tubos que pueden actuar como decantadores.
- b) **Acción de fuerzas centrífugas:** El agua que circula por las canalizaciones sigue trayectorias curvilíneas. Aparecen fuerzas de inercia y las partículas chocan entre sí y pueden formar flóculos.
- c) **Fenómenos de interceptación:** Las partículas acaban chocando contra el material filtrante y pueden quedar atrapadas o fijadas a su superficie.
- d) **Fenómenos de difusión:** Las partículas más pequeñas tienen un movimiento propio errático que puede facilitar los choques, favoreciendo la formación de flóculos y la fijación al material del lecho filtrante.

Las partículas pueden quedarse adheridas al material filtrante mediante diferentes fenómenos de **fijación**:

- e) **Fenómenos de adsorción física:** Intervienen fuerzas de Van der Waals, y electrocinéticas. Este fenómeno es fundamental cuando se utiliza carbón activo como medio filtrante.
- f) **Interacción electrostática:** Dependerá de las características iónicas del medio filtrante y del contaminante a eliminar.
- g) **Adsorción química:** Por enlaces o interacción química.

Los fenómenos e-g pueden actuar simultáneamente.

El crecimiento biológico dentro del filtro reducirá el tamaño del poro y puede mejorar la eliminación de partículas mediante alguno de los mecanismos de eliminación descritos (casos a-d).

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 186 de 310		

La importancia de los fenómenos citados dependerá del tipo de agua, del medio filtrante, del tipo de coagulante utilizado previamente, etc.

La adherencia va a ser fundamentalmente un equilibrio de fuerzas, si cambian las circunstancias puede producirse la resuspensión de las partículas. En una situación de filtración a caudal constante el proceso es bastante estable. Si se produce una reducción del caudal no se va a producir ningún problema importante. Sin embargo, si se incrementa el caudal se rompe el equilibrio de fuerzas y las partículas retenidas y fijadas pueden desprenderse y ser arrastradas. Se produce la llamada rotura del filtro. En el efluente del proceso aumentará la turbidez y el agua perderá calidad, pudiendo llegar a ser peor que la que entraba al filtro. En la explotación de los filtros se debe tener especial cuidado con las oscilaciones de caudal de tratamiento.

10.1.1 Variables generales del proceso

En la aplicación de la filtración para la eliminación de sólidos en suspensión, las variables más importantes para el diseño del proceso son:

- Características del material filtrante.
- Características del agua a tratar y del agua filtrada.
- Velocidad de filtración.

10.1.1.1 Caracterización del lecho filtrante

Las características fundamentales que definen un lecho filtrante son:

- **Material granular:** El más utilizado es arena silíceo ($\rho \sim 2.65 \text{ T/m}^3$). También se utiliza antracita ($\rho \sim 1.35$ a 1.75 T/m^3) y granate ($\rho \sim 4$ a 4.2 T/m^3). Se emplea también carbón activo, aunque con otros objetivos además de medio filtrante.
- **Granulometría:** Se define a partir de dos parámetros: tamaño de partícula y uniformidad de tamaños. El tamaño va a determinar la luz de los intersticios. Se caracteriza mediante el d_{10} o luz de malla que deja pasar un 10 % en peso del material. El d_{10} es el tamaño o diámetro eficaz o efectivo, y determina, en gran parte, la calidad del filtrado, pues el diámetro de poro es, aproximadamente $1/7$ del diámetro efectivo

El coeficiente de uniformidad C_u da idea de la mayor o menor diversidad de tamaños. Se obtiene mediante la relación:

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 187 de 310	

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Donde d_{60} es la luz de malla que sólo deja pasar un 60 % en peso del material filtrante. Un valor usual en arenas comerciales es de 1,5; como máximo no deberá sobrepasarse el valor 1,6 y sólo en casos excepcionales se admitirá hasta 1,8.

Al d_{10} y al C_u se les denomina parámetros de Hazen.

- **Forma de los granos:** Los granos pueden ser angulosos (material triturado) o redondos (arena de río y mar); contrariamente a lo que se puede pensar, los primeros se acoplan menos fácilmente unos con otros y dejan, por tanto, huecos o paso mayor que los segundos. En consecuencia, para una misma granulometría, el aumento de pérdidas de carga es menor con granos angulosos que con granos redondos. Por tanto, para obtener calidades de agua filtrada similares, un material anguloso tendrá un diámetro efectivo menor que el de material de granos redondos
- **Atacabilidad:** El material puede degradarse por acción de agentes agresivos. La acidez del agua, por ejemplo, si existe CO_2 , puede atacar al material. Para estimar la atacabilidad se sumerge el material filtrante en una solución de ácido sulfúrico al 5 % durante 24 horas y posteriormente se seca y se pesa. La variación de peso debe ser menor del 2 % para que sea un material aceptable. Si se emplea ácido clorhídrico al 40 %, la pérdida de peso deber ser inferior al 5 % al cabo de 24 horas.
- **Friabilidad:** La arena a emplear en los filtros debe ser dura y resistente. La formación de finos por desgaste del material debe reducirse al máximo. La acción de los lavados puede generar finos que atasquen el proceso. Se valora la friabilidad de un material determinando la cantidad que se mantiene utilizable, es decir, que tiene el mismo tamaño efectivo que la muestra original, después de ser triturado bajo unas condiciones normalizadas. Para la valoración de la friabilidad se realizan dos medidas: una tras 15 min y otra después de 30 min de trituración. Si se designa por X el porcentaje de material triturado con tamaño efectivo inferior a la inicial, la friabilidad o pérdida se estima mediante:

$$\text{Pérdida en \%} = \frac{10}{9} (X - 10)$$

Los valores límites de la friabilidad se muestran en la siguiente tabla (*Tabla 10.1*):

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 188 de 310	

Tabla 10.1. Valores límites de friabilidad.

Características	15 minutos	30 minutos
Muy bueno	6 al 10 %	15 al 20 %
Bueno	10 al 15 %	20 al 25 %
Mediocre	15 al 20 %	25 al 35 %
Totalmente rechazable	> 20 %	> 35 %



- **Geometría del lecho:** El espesor del lecho y la superficie filtrante también son variables importantes. Está demostrado experimentalmente que el espesor de un lecho de granulometría dada tiene un valor máximo que, si se aumenta, no mejora la calidad del filtrado. Este espesor define la altura mínima que debe utilizarse, estando limpio el filtro, para obtener el mejor filtrado. A esta altura y a la velocidad establecida, corresponde una pérdida de carga mínima.

10.1.1.2 Eficiencia del proceso

La composición del agua problema será fundamental en el comportamiento del filtro y en los resultados que se van a obtener. Las características más importantes del agua a filtrar son la concentración de sólidos en suspensión, el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas y la consistencia de los flóculos. Un agua que se vaya a filtrar no debe tener una concentración de sólidos superior a un cierto límite ya que si no el funcionamiento y la explotación del filtro no serían rentables. Un agua coagulada y floculada ve mejorada su calidad antes de ser filtrada, lo cual explica el tratamiento químico previo realizado.

Por lo general, las partículas en suspensión que puedan persistir en el agua luego de los restantes tratamientos tienen una distribución bimodal de tamaños. Hay una fracción de partículas pequeñas en torno a las 5 μm , y otra de mayor tamaño en torno a las 80 μm . Lo importante de esta distribución bimodal de tamaños es que los mecanismos para eliminar unos y otros durante la filtración deberán ser diferentes.

El rendimiento del proceso se verá reflejado entonces en la disminución de la turbidez del efluente. Tanto la concentración de SS como la turbidez en el efluente serán referencias válidas a la hora de medir la efectividad del proceso. La turbidez es fácilmente medible de forma directa y continua, y correlaciona muy bien con la concentración de sólidos en suspensión para un agua dada. El lecho filtrante va sufriendo un ensuciamiento conforme va tratando agua. Llega un momento en que la turbidez máxima admisible se supera y el proceso deja de ser eficaz. Hay que proceder a limpiar o lavar el lecho filtrante.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 189 de 310	

Otra forma de conocer la pérdida de efectividad del proceso es mediante la medida de la pérdida de carga hidráulica. El lecho al atascarse ofrece cada vez más resistencia al paso del agua. El nivel del agua sobre el lecho va aumentando. Una forma de control es fijar una altura máxima de ese nivel de agua y considerar que es necesario el lavado cuando se supera dicho nivel.

10.1.1.3 Velocidad de filtración

El caudal de agua a filtrar debe estar relacionado con la superficie de filtración disponible para conseguir unos rendimientos adecuados. Como parámetro básico de diseño se utiliza la velocidad de filtración, que es la relación entre el caudal a filtrar y la superficie horizontal del lecho ($m^3/h/m^2$).

La velocidad de filtración dependerá del tamaño medio del material filtrante y de la consistencia de los flóculos o sólidos. Mientras más consistente es un flóculo, para un mismo tamaño de poro del lecho, más alta puede ser la velocidad de filtración sin que el flóculo se rompa, y por lo tanto menor superficie de filtración será necesaria.

10.1.2 Filtración rápida

Durante un proceso de filtración rápida el agua puede atravesar el lecho filtrante a velocidades entre 4 y 50 m/h. A estas velocidades los procesos biológicos van a ser insignificantes y, si existen, se va a tratar de eliminarlos. Los mecanismos de eliminación de partículas que van a preponderar serán los físicos. Se busca que funcione todo el lecho del filtro.

A medida que va reteniendo sólidos el filtro termina por atascarse. Cuando el atascamiento alcanza un valor excesivo (pérdida de carga elevada) o la calidad del filtrado deja de ser satisfactoria hay que lavar el filtro. Al tiempo de funcionamiento de un filtro entre dos lavados se denomina carrera del filtro.

El lavado debe conseguir restituir las características originales del filtro, en caso contrario el lecho se iría deteriorando y en un determinado momento habría que proceder a la limpieza del material o a su sustitución.

El buen funcionamiento de un filtro depende del buen reparto que se haga de: el agua a filtrar, el agua de lavado y, en su caso, del aire si se emplea para lavar. Tiene mucha importancia por tanto los métodos de recogida del agua filtrada, de reparto del agua de lavado, así como el sistema que se adopte como soporte del material filtrante.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 190 de 310	

El lecho puede conformarse de un solo material homogéneo, monocapa, o puede estar formado por varias capas de material homogéneo en cada capa. Incluso, puede ser una mezcla de materiales heterogéneos, estratificados o no.

La eficacia de un filtro depende mucho de la regulación de caudal a tratar, la cual debe estar al abrigo de sobrecargas tanto en los periodos de incremento de caudal general como cuando se procede al lavado de alguna o varias de las unidades de filtración.

La velocidad del flujo a través del filtro se puede expresar mediante:

$$\textit{Tasa de filtración} = \frac{\textit{Fuerza impulsora}}{\textit{Resistencia del filtro}}$$

La fuerza impulsora representa la pérdida de presión en la circulación a través del filtro (gradiente hidráulico). Al poner en funcionamiento el filtro, la fuerza actuante sólo debe vencer la resistencia que ofrecen el lecho filtrante limpio y el sistema de recogida de agua filtrada (gravas, boquillas, etc.). A medida que se va acumulando fango, la fuerza actuante deberá vencer la resistencia que ofrece el lecho filtrante atascado y el sistema de recogida de agua filtrada.

El paso de un líquido a través de un medio poroso se rige por la ley de Darcy, según la cual el gradiente hidráulico y la velocidad del flujo se relacionan mediante:

$$\frac{dP}{dl} = k V$$

Donde, dP/dl , es el gradiente hidráulico (m/m) a lo largo del lecho, k es el coeficiente de Darcy (inverso del coeficiente de permeabilidad K_p , en d/m) y V la velocidad del flujo o de filtración (m/d).

El coeficiente de Darcy varía a lo largo de la carrera de filtración debido a la acumulación de sólidos. En el arranque de la filtración, es decir cuando $t = 0$, $k = k_0$, siendo por tanto la pérdida de carga P_0 de un filtro limpio empezando a funcionar:

$$P_0 = k_0 \cdot V \cdot H$$

Donde H es la altura del lecho (m). Para los valores normales de velocidad de filtración, el valor de P_0 suele oscilar entre 0,15 a 0,30 m.

Se han desarrollado varias formulaciones para calcular o evaluar experimentalmente el coeficiente de permeabilidad. Una ecuación típica para flujo laminar a través de material granular que ilustra las variables más importantes es la siguiente:

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 191 de 310	

$$P = J \frac{\nu}{g} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon} \left(\frac{\sigma_s}{d_p} \right)^2 V H$$

Donde:

ν = viscosidad cinemática del agua, [m²/seg].

J = constante empírica, aproximadamente 6 para el flujo laminar.

ε = porosidad del mediofiltrante.

g = aceleración de la gravedad, [m/seg²].

d_p = diámetro de la partícula, [m].

σ_s = factor de forma, una medida del grado de irregularidad de la partícula y $\sigma_s = 6/\sigma$ en donde σ es la esfericidad. La esfericidad es la relación entre el área superficial de una esfera de igual volumen y el área superficial de la partícula. El valor de σ_s para partículas esféricas es de 6 y 8.5 para materiales granulares machacados tales como el carbón de antracita.

No existe una medida directa del factor de forma. Lo práctico es determinar el producto de las constantes, $J\sigma_s^2$, como una característica global de un material filtrante.

10.1.2.1 Funcionamiento de la filtración rápida

Si se representa gráficamente la turbidez y la pérdida de carga frente al tiempo en un proceso a caudal y velocidad de filtración constantes se obtienen curvas como las siguientes:

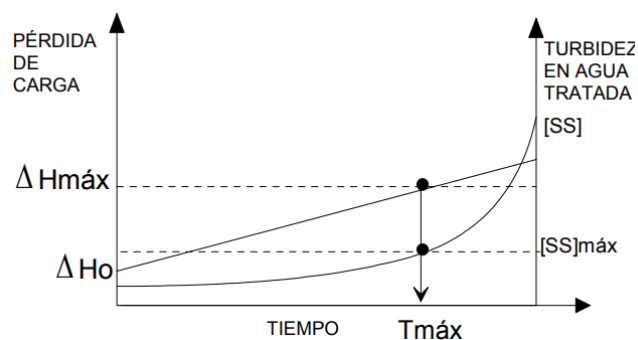


Gráfico 10.1. Turbidez y pérdida de carga vs tiempo en un proceso a caudal y velocidad de filtración constantes.

El punto óptimo de funcionamiento será aquel en que la pérdida de carga máxima coincida con la turbidez máxima. La carrera de filtración queda perfectamente limitada.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 192 de 310	

Para que el periodo de atascamiento t_a sea aceptable es preciso aumentar la altura del lecho; el tiempo durante el cual se mantiene claro el filtrado es proporcional al espesor. Para aprovechar al máximo el espesor debe fijarse una pérdida de carga máxima tal que el tiempo t_b necesario para alcanzarla sea un poco inferior al tiempo t_a necesario para que se produzca el máximo atascamiento. Este valor de la pérdida de carga representa el límite máximo por encima del cual se producirá la rotura del filtro.

El gráfico inferior representa la evolución de la turbidez. La turbidez comienza por decrecer durante un periodo denominado de “maduración” del filtro y, seguidamente, permanece estable durante un cierto tiempo, antes de aumentar produciéndose la rotura del filtro. Si se fija un límite máximo de turbidez “x”, y ésta se alcanza al cabo de $t_a < t_b$, significa que el filtro está mal concebido y que habrá que aumentar el espesor del lecho.

Los factores que influyen sobre los tiempos t_a y t_b son:

- ✓ La calidad y cantidad de materias en suspensión contenidas en el agua a tratar.
- ✓ La granulometría del material filtrante, definida por su diámetro efectivo.
- ✓ La velocidad de filtración.
- ✓ La altura de la capa filtrante.
- ✓ Las variaciones de la pérdida de carga.

Por definición, el filtro ideal será aquel para el cual $t_a = t_b$. En la práctica, se adopta un margen de seguridad en funcionamiento, con $t_a < t_b$.

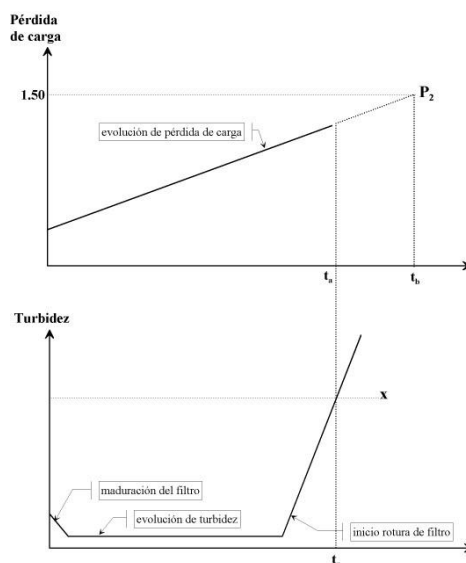


Gráfico 10.2. Evolución de la turbidez y de la pérdida de carga en un filtro

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 193 de 310	

10.1.2.2 Curvas de presión

Si se analiza la evolución de la pérdida de carga, las impurezas retenidas quedan bloqueadas en los primeros centímetros del lecho y crean pérdidas de carga locales muy fuertes, capaces de acortar el ciclo de filtración.


Puede suceder que se generen presiones negativas ($P < P_{atm}$). Es decir, cuando la pérdida en las capas superiores llega a ser mayor que la altura de agua sobre la arena. En ese caso, la columna de agua inferior actúa como un tubo de aspiración, originando un vacío parcial, pérdida de carga negativa, que cuando es excesiva permite que se libere parte del aire disuelto en el agua, el cual se aloja en la arena formando bolsas lo que disminuye el área efectiva y aumenta la velocidad de filtración. Asimismo, al inicio del lavado en contracorriente puede escapar una masa de aire antes de que se rompa el conjunto de la superficie de la arena, y esto permitirá que se produzca una alta velocidad local del agua de lavado con el posible desplazamiento del lecho.

Por una razón u otra (turbidez o Δh máxima) habrá que proceder a limpiar todo el lecho filtrante, no sólo una limpieza superficial, aunque sea la zona más sucia. El lavado habitual se realiza mediante un flujo de agua y aire, o sólo con agua en este caso expandiendo el lecho. Las partículas que habían quedado retenidas son puestas en suspensión y arrastradas. La arena choca entre sí y se favorece el despegue y arranque de la suciedad a ella adherida. El agua de lavado, que ahora incorpora los SS acumulados durante la carrera del filtro, se debe evacuar a través de canaletas o dispositivos especiales.

10.1.2.3 Tamaño efectivo del material en filtros rápidos monocapa

La granulometría del material filtrante dependerá del campo de aplicación. La selección debe hacerse teniendo en cuenta la altura del lecho y la velocidad de filtración. Ésta depende de la naturaleza del agua a ser filtrada: filtración directa de agua bruta, filtración de agua decantada, afino de efluentes biológicos secundarios o terciarios, etc. El coeficiente de uniformidad se fija de 1,2 a 1,8. La práctica usual es la siguiente:

- Tamaño efectivo de 0,3 a 0,5 mm: para filtración muy rápida, a presión, hasta 25 m/h e incluso 50 m/h. Filtración de aguas poco cargadas de impurezas. La pérdida de carga puede alcanzar varias atmósferas. El lavado se efectúa necesariamente sólo con agua a una velocidad suficiente para expandir el lecho filtrante.



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)			
Tratamiento de Agua de Flowback				Año de cursada: 2018			
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio		<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel		<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian		Página 194 de 310	

- Tamaño efectivo de 0,6 a 0,8 mm: filtración de agua decantada, a velocidad limitada (7 m/h) en filtros abiertos y a velocidad mayor en filtros cerrados, en los que puede soportarse una pérdida de carga más elevada.
- Tamaño efectivo de 0,9 a 1,2 mm: Se emplea en capa homogénea, para la filtración de aguas decantadas o aguas poco turbias con coagulación sobre el filtro. Se adapta a los filtros lavables con agua y aire, y pueden alcanzarse velocidades de 15 a 20 m/h, según la calidad del efluente deseado.
- Tamaño efectivo de 1,3 a 1,5 mm: filtración de aguas coaguladas y decantadas, con una pérdida de carga no superior a 0,15 bar. Se emplea como capa soporte de material de 0,4 a 0,8 mm. Desbaste eficaz, en filtración directa o en coagulación sobre el filtro, de aguas residuales en tratamiento terciario.
- Tamaño efectivo de 1,5 a 2,5 mm: desbaste clásico de aguas brutas para uso industrial (sin coagulación).
- Tamaño de 3 a 25 mm: utilización casi exclusiva como capa soporte.

10.1.2.4 Estructura

Un filtro rápido convencional está constituido por:

- Una capa o lecho filtrante, con las características descritas anteriormente correctamente definidas.
- Un soporte de grava cuyas funciones son: en primer lugar, servir de soporte al medio filtrante para que no se pierda por el drenaje durante la filtración y además hacer que se distribuya uniformemente el agua de filtrado o lavado, dependiendo del sentido del flujo.
- Un falso fondo, en donde se colocan las boquillas u orificios de drenaje y de inyección de agua y aire de lavado. Las funciones del falso fondo son dejar una cámara en la parte inferior del filtro que recoge el agua de filtrado o lavado uniformemente y distribuir el agua con presión uniforme.
- Uno o varios canales de entrada de agua bruta, dotados de vertederos o compuertas, que faciliten una distribución homogénea del agua sobre el lecho filtrante.
- Uno o varios canales de recogida de agua de lavado.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 195 de 310	


- Condiciones de agua bruta, agua de lavado y agua filtrada.
- Bombas y llaves de paso y de protección.
- Cuadros de control y monitorización para el lavado automático.
- Diversos aparatos de control y/o medida de caudal, altura de lámina de agua y pérdida de carga.

En las plantas de tratamiento se colocan varias unidades de filtración. Un canal de distribución asegura la llegada de agua bruta al filtro. Los procesos de lavado se van alternando entre los filtros de forma que se optimice la explotación.

10.1.2.5 Tipología de filtros rápidos

Se pueden realizar diferentes clasificaciones de filtros en función del criterio que se utilice:

- Según la fuerza impulsora para hacer pasar el agua por el filtro:
 - a) Filtros de gravedad.
 - b) Filtros a presión.
- Según la estructura:
 - a) Abiertos: el agua está a presión atmosférica, suelen ser de hormigón, en algunos casos se pueden cubrir
 - b) Cerrados: suelen ser presurizados, se utilizan materiales metálicos.
- Según el tipo de funcionamiento:
 - a) Semi-continuos: se mantienen en funcionamiento hasta cuando deban lavarse.
 - b) Continuos: los procesos de filtración y lavado se llevan a cabo de manera simultánea.
- Según la composición del lecho:
 - a) Lecho monocapa: se utiliza un sólo material; casi siempre se coloca arena silíceas; en el fondo del lecho, sobre el falso fondo, se suele colocar una subcapa de grava.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 196 de 310	

b) Filtro multicapa: consiste en disponer diferentes materiales en capas. Existen varias posibilidades en función del objetivo perseguido. Si lo que se busca es que el filtro se ensucie homogéneamente habrá que colocar capas de diferentes tamaños eficaces: en las superiores tallas efectivas menores y en el fondo las mayores. Los sólidos en suspensión más gruesos se van a quedar en el fondo, pero el resto del lecho va a retener de forma progresiva los demás tamaños. El filtro se ensucia de forma global y así la carrera puede ser mayor.

- Según el flujo:

- a) De flujo descendente: es la tipología más común
- b) De flujo ascendente: esta modalidad tiene la ventaja de que se puede construir un filtro multicapa con un solo material, ya que los tamaños gruesos son los que van a estar en el fondo del lecho, que es por donde accede el agua bruta en este caso.

- Según la metodología de lavado:

- a) Sólo con agua, tanto para los de flujo ascendente como descendente;
- b) Agua y aire, en flujo ascendente o descendente: el aire produce una gran turbulencia y esfuerzos cortantes que facilitan el desprendimiento de la suciedad; se puede introducir primero el aire y posteriormente el agua, o hacerlo de forma conjunta;
- c) Lavado superficial: el lavado puede hacerse más intenso en superficie, que es donde se puede haber acumulado más suciedad, mediante lanzas de chorro de agua. En general, el lavado de superficie complementa los lavados sólo con agua, para romper las costras superficiales.

10.1.2.6 Control del proceso

El objetivo del control del proceso es optimizar el funcionamiento y la explotación del filtro. Se debe evitar, fundamentalmente, la rotura del filtro, que traería como consecuencia la resuspensión de las partículas que ya habían sido retenidas. Fuertes oscilaciones de caudal, y de la velocidad de filtración, por tanto, pueden producir tal fenómeno.

Si la velocidad aumenta durante el ciclo de filtración comienza el arrastre de partículas que antes habían quedado retenidas e incluso puede descolocar y mover el lecho. Si la

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 197 de 310	

velocidad permanece constante el proceso se desarrolla en equilibrio. Si la velocidad decrece se disminuye la capacidad de tratamiento, aunque los resultados pueden ser mejores.

Por tanto, es necesario colocar sistemas de control y regulación de los filtros. Existen diferentes estrategias y técnicas de control:

a) Control de los caudales que acceden a cada filtro: El canal de distribución asegura la llegada de agua bruta al filtro. En la entrada del filtro se pueden incorporar vertederos o sifones. El sifón permite introducir caudales constantes, aunque varíen los niveles en el canal de distribución. La colocación de vertederos implica que debe controlarse el caudal principal en el canal previo. Otra forma de control de caudales es la utilización de bombas. Los citados anteriormente son sistemas que aseguran un caudal de entrada constante pero el nivel de agua sobre el filtro va a ser variable conforme se va ensuciando. Cuando el filtro está limpio, la arena se encuentra justamente cubierta de agua, cuyo nivel se mantiene a la cota del vertedero de salida de agua filtrada. Cuando el atascamiento es máximo, el nivel alcanza la cota del plano de agua de alimentación.

Generalmente, la variación de nivel de agua a lo largo del ciclo es de 1,50 a 2,00 m según la granulometría del lecho filtrante.

b) Caudal constante de entrada y nivel constante de filtración: El elemento de entrada es más sencillo al mantenerse siempre el mismo nivel en el interior del depósito durante la filtración. Una comunicación sencilla entre canal de distribución y el depósito del filtro permitiría una entrada de caudal constante. Este sistema es el más habitual. El sistema de control consiste básicamente en un flotador que está conectado a un elemento sifónico a la salida del filtro.

Cuando el flotador baja por debajo de una cota el sifón se desceba y deja de sacar agua. Cuando el nivel sube se cierra la entrada de aire al sifón y se ceba de nuevo, comenzando a extraer agua ya filtrada. Durante la carrera del filtro se mantiene una pérdida de carga máxima ficticia. El filtro cada vez produce más pérdida de carga, al ensuciarse, pero el flujo se fuerza con el sistema de control.

c) Caudal de salida constante: El control se basa en la conexión de una válvula automática a un sistema de medición de caudales. El caudal de salida sufre de esta forma sólo oscilaciones muy pequeñas. El nivel en el interior del depósito del filtro va a ser variable.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 198 de 310	

d) Sistemas de velocidad decreciente: Se basan en el ensuciamiento del filtro. El filtro que más suciedad tenga va a ser el que menos caudal deje pasar. El caudal de entrada va a distribuirse de forma no homogénea. El filtro más limpio de la batería recibe el mayor caudal. Si se alimenta de modo que se produzca una pérdida de carga despreciable en la entrada al filtro y se va disminuyendo el caudal aplicado, el incremento de la pérdida de carga en el lecho puede hacerse igual a la disminución de la pérdida de carga en el sistema colector y así la altura de filtración es la misma para toda la batería de filtros. En la práctica, el nivel del agua en el filtro tenderá a subir, puesto que el aumento de la pérdida de carga en el lecho es más rápido que el decrecimiento en el sistema colector. También puede ser igual la cota de los vertederos de salida de agua ya tratada.

Los diversos sistemas de regulación y control tienen un objetivo común, que es el de minimizar las oscilaciones y las velocidades de filtración elevadas que pueden causar afecciones al lecho.

Los diseños del tipo de caudal decreciente son más lógicos, ya que los caudales mayores se aplican a los filtros limpios con lo que el riesgo de rotura del lecho es menor. Además, es poco probable que se produzcan oscilaciones, puesto que la velocidad solamente puede aumentar si lo hace la carga sobre el filtro y ello requiere una cantidad apreciable de tiempo.

10.1.2.7 Lavado

Los filtros deben lavarse cuando se alcance una pérdida de carga de 2 a 3 m, o bien cuando el operador lo juzgue conveniente. Si el filtro no trabaja de modo continuo, los convencionales, el lavado puede practicarse al final del ciclo, independientemente de la pérdida de carga. Sin embargo, la necesidad del lavado no sólo se manifiesta por la pérdida de carga, sino por la presencia de flóculo en el agua filtrada. La turbidez puede aparecer con pérdidas de carga tan bajas como 1,20 m.

Se ha mencionado, que el proceso de lavado del filtro se puede realizar de distintas maneras: lavado sólo con agua o lavado con agua y aire.

10.1.2.7.1 Lavado solo con agua

Se emplea un caudal de agua descendente suficientemente elevado para expansionar el material filtrante. La expansión requerida varía de 15 a 40%. Las partículas de material filtrando se mueven en el seno de la corriente descendente de agua, chocan unos con otros y se limpian de fango.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 199 de 310		

Con este tipo de lavados es típica la formación de bolas de lodo, debido a las costras superficiales que por corrientes de advección se desplazan hacia el fondo durante el lavado. En parte esto se combate haciendo un lavado superficial con chorros de agua a presión distribuidos por tuberías giratorias o fijas. Esta forma de lavar exige muchas precauciones.

Durante el lavado el comportamiento del filtro está gobernado por el d_{60} y no por el d_{10} , es decir, mandan las partículas de mayor tamaño, que pesan más y cuesta más expansionarlas.

La velocidad de lavado debe ser suficiente para arrastrar los fangos, pero no demasiado elevada como para llevarse el material granular. El valor máximo depende del material, siendo para 20 °C:

- Arena ($\rho = 2.65$): $V_t = 10 d_{60}$ (m/min) o
- Antracita ($\rho = 1.55$): $V_t = 4.7 d_{60}$ (m/min)

Hay también una velocidad de lavado mínima, cuando el lecho empieza a fluidificar, dada por:

$$V_{fl} = V_t \cdot f \cdot 4,5$$

El lavado de un material es consecuencia del esfuerzo cortante hidrodinámico y de la abrasión entre partículas. La máxima abrasión se produce cuando la expansión del lecho es del 10 % (el 100 % sería cuando la arena es arrastrada), o sea cuando:

$$V_b = 0.1 V_t$$

Para lechos de arena esto significa $V_b = d_{60}$ y para antracita $V_b = 0.47 d_{60}$. Estas velocidades son a 20 °C, para otras temperaturas:

$$V_{b(T)} = V_{b(20)} \times \mu_T^{-1/3}$$

Donde μ_T es la viscosidad en centipoise a la temperatura T.

En el diseño del lavado sólo con agua debe tenerse en cuenta no sólo el tamaño y densidad del medio filtrante, sino también el tipo y disposición del sistema colector, el número, tamaño y localización de los canales de lavado, la carga hidráulica necesaria, suministrada por bombeo o mediante depósito elevado, el sistema de control y el tipo y capacidad del lavado superficial auxiliar.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 200 de 310	

El volumen de agua de lavado necesario varía entre el 1 al 5 % del caudal tratado. La duración del lavado con agua suele durar unos 5 minutos, por lo que una vez conocido el caudal de lavado es fácil calcular el volumen requerido.

10.1.2.7.2 Lavado con agua y aire

Consiste en utilizar un pequeño caudal de retorno de agua, que no expansiona la arena, y agitar ésta al mismo tiempo mediante una inyección de aire comprimido. No se producen bolas de lodo porque no hay expansión de la arena y porque las costras superficiales son deshechas por el aire.

Durante la inyección de aire, puede variarse el caudal de agua de lavado dentro de un margen muy amplio, manteniéndolo siempre superior a $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Lo recomendable es aplicar el aire y el agua simultáneamente, y no en forma sucesiva aire y agua.

La agitación con aire puede ayudar a restituir la estratificación de los lechos de doble medio filtrante y es particularmente útil para limpiar la superficie de separación entre la antracita y la arena. Cuando la suciedad se acumula en la superficie del agua sin alcanzar las canaletas de evacuación, debe efectuarse un aclarado, mediante:

- a) Mantener constante el caudal de agua de retorno, hasta que el agua evacuada sea clara. El tiempo empleado en esta operación es tanto menor cuanto mayor es el caudal de agua (siempre mayor que 12 m/h) y cuanto menor es el espesor de la lámina de agua sobre la arena.
- b) Aumentar el caudal de agua durante el aclarado para llevarlo, al menos, hasta 15 m/h.
- c) Barrer la superficie del filtro con una corriente horizontal de agua bruta o de agua decantada combinada con el retorno de agua.
- d) Vaciar el agua fangosa encima de la arena y barrer la superficie de ésta como en c.

Los caudales empleados en el de lavado dependen de la altura de la lámina de agua sobre el lecho. En filtros con poca altura de lámina de agua (0.50 m aproximadamente) van de 18 a 20 m/h para el agua de retorno y de 50 a 60 m/h para el aire. La potencia necesaria en el lavado (compresor y bomba) es del orden de $1.5 \text{ kW}/\text{m}^2$; el lavado dura unos 15 minutos, sin tener en cuenta los tiempos muertos. El consumo de agua varía entre 1 y 2 % del volumen filtrado.

En filtros con gran altura de lámina de agua (1.20 m aproximadamente) y con espesores de 1.50 m o más, van de 13 a 15 m/h para el agua de lavado y se mantiene de 50 a 60

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 201 de 310	

m/h para el aire. Estos filtros pueden realizar un lavado de superficie empleando agua no filtrada, es decir, “como si estuvieran funcionando”, de modo que no hay que repartir ningún exceso de caudal entre los filtros que no se están lavando. El lavado dura de 10 a 12 minutos.

Las boquillas para el lavado con agua y aire se suelen configurar como de tubo largo. El aire que se inyecta forma un colchón bajo el falso fondo que alimenta los agujeros y las ranuras de las toberas, asegurando una buena mezcla de aire + agua que se reparte uniformemente por toda la superficie. Normalmente debe preverse un mínimo de 50 boquillas por metro cuadrado. Los caudales de aire a contracorriente son del orden de 1 m³/h por boquilla.

10.1.2.7.3 Canaletas de recogida de agua de lavado

El agua de lavado, una vez atravesado el lecho, discurre hacia las canaletas de desagüe, cuyos bordes son horizontales y están todos ellos dispuestos a la misma cota, generalmente a una distancia igual al régimen de descenso por minuto, es decir, a unos 600 a 900 mm por encima de la superficie de la arena.

La disposición de los canales depende del tamaño de la unidad; en las unidades pequeñas, las canaletas descargan en un canal dispuesto a un lado del filtro, mientras que en las grandes instalaciones descargan en un canal central que divide el conjunto de la unidad en dos secciones.

Puesto que el agua de lavado no debe recorrer en sentido lateral más de 1 m, las canaletas nunca se instalan a distancias mayores de 2 m entre sí. Se construyen de hormigón, de fibra de vidrio o de acero, y sus secciones transversales son de diferentes tamaños. Las canaletas de hormigón tienen paredes verticales y el fondo en forma de V y deben construirse con capacidad suficiente para que las paredes actúen como vertederos de caída libre para el agua de lavado. Los fondos pueden tener una pendiente hacia los desagües, pero generalmente son horizontales. Debe preverse un resguardo de 50 a 100 mm.

Las dimensiones de las canaletas siempre que el fondo sea horizontal y el agua pueda adoptar su propio gradiente, pueden calcularse con la siguiente fórmula:

$$y = 1.73 \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g b^2}}$$

En la que y es la profundidad del agua en el extremo superior del canal, Q es el volumen total evacuado por la canaleta, b es el ancho, y g es la gravedad. La fórmula se

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 202 de 310	

basa en canales con fondo plano, en caso de tratarse de canales en forma de V, ésta debe compensarse calculando un área equivalente a la sección recta. Si los canales fueran muy largos deberían considerarse las pérdidas por rozamiento.

10.1.2.7.4 Frecuencia de los lavados

La frecuencia de lavado depende de la naturaleza del agua a tratar. En la práctica se toma como base la pérdida de carga máxima, cuando se alcanza ésta se procede al lavado.

Si se trabaja a caudal muy variable, la mejor solución consiste en fijar el lavado después de la filtración de un cierto volumen de agua, determinado en función de la calidad obtenida al final de la carrera.

10.1.2.7.5 Consumo de agua de lavado


El consumo de agua de lavado es tanto mayor cuanto:

- Mayor es el espesor de la lámina de agua sobre el material filtrante.
- Menor es el caudal de agua de retorno
- Más separados se encuentren las canaletas de evacuación unas de otras
- Mayor sea la cantidad de fango a evacuar
- Mayor sea la cohesión del fango y su densidad

Para una altura de 1 m de lecho lavado con agua y aire, el consumo total de agua de lavado es del orden de 3 a 4 m³ por m² de superficie filtrante. En las mismas condiciones, un lavado sólo con agua consume de 4 a 6 m³ por m².

10.1.2.7.6 Producción de fangos

El fango se deposita en los intersticios del material filtrante. Como hay que dejar un paso suficiente para el flujo, sólo puede obstruirse una media del 25 % del volumen hueco que deja el material filtrante. Ya que en 1 m³ de arena hay aproximadamente 450 litros de espacio vacío, el volumen utilizable para retener sólidos, floculados o no, es de unos 110 litros. En el caso de filtrar sólidos coloidales coagulados-floculados, como el contenido en materia seca de éstos no supera los 10.000 mg/L (10 g/L), la cantidad retenida por m³ de arena se limita a 110 x 10 = 1.100 gramos (1.1 kg/m³ arena). Cuando los flóculos están cargados de materias minerales densas (arcilla, carbonato cálcico), el

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 203 de 310	

contenido en materia seca puede llegar a 60 g/L, por lo que la producción de fangos sería entonces de $110 \times 60 = 6.6 \text{ kg/m}^3$ de arena.

Estos valores permiten estimar el contenido máximo de materias a retener, y por lo tanto el límite de la concentración en el agua que llega a un filtro, una vez fijadas la velocidad de filtración y la duración de la carrera del filtro.

Por ejemplo, con un filtro de 1 m de altura de relleno, previsto para trabajar a una velocidad de $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (10 m/h), con una carrera de 12 horas (120 m^3 de agua por m^3 de lecho durante la carrera) el agua a filtrar no puede contener más de $1100 \text{ g}/120 \text{ m}^3 = 10 \text{ mg/L}$ de sólidos en suspensión flocculados o más de $6600 \text{ g}/120 \text{ m}^3 = 55 \text{ mg/L}$ de sólidos en suspensión muy minerales flocculados.

10.1.3 Filtración lenta

La filtración lenta tiene por objeto tratar aguas con concentraciones muy bajas de sólidos en suspensión. Si las concentraciones fueran elevadas las carreras de los filtros lentos serían muy cortas. La filtración lenta es un proceso de baja tecnología que ofrece buenos resultados.

10.1.3.1 Características

Se puede describir un filtro lento como aquel que tiene:

- Material filtrante con un d_{10} entre 0.15 y 0.35 mm;
- $C_u < 3$ (preferiblemente < 2), no se busca gran distribución de tamaños de partículas;
- Velocidad de filtración:

$$V_f = \left(\frac{Q}{S_f} \right) \longrightarrow 0.1 - 0.4 \text{ m/h} \quad \left(2.5 \text{ a } 10 \text{ m/d} \right)$$

- El agua bruta a filtrar debe ser de baja turbidez y de valor constante; turbidez $< 50 \text{ mg/L}$ de SiO_2 , el óptimo sería del orden de 10 mg/L de SiO_2 .

Si el agua que llega a la filtración lenta supera los valores de turbidez fijados o tiene altas concentraciones de SS hay que utilizar procesos previos de decantación.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 204 de 310	

10.1.3.2 Funcionamiento

El funcionamiento de un filtro lento es relativamente sencillo. En la superficie del lecho filtrante se forma una película biológica de un espesor de 1 a 2 cm constituida por muchos tipos de microorganismos. Realizan una función de filtración en superficie, pero también son capaces de eliminar materia orgánica disuelta y coliformes. Para que se genere esta biopelícula es necesario que pase un determinado intervalo de tiempo, denominado de maduración del filtro, que es muy variable y depende fundamentalmente del tipo de agua.

La carrera del filtro es superior a dos semanas (normalmente entre 2 y 3 meses), con resultados válidos. Para su limpieza son necesarios 1 o 2 días. En el proceso se vacía el depósito, se elimina la biopelícula y algo de arena (1 - 2 cm). La arena se debe reponer cada 5 años, aproximadamente. El filtro debe diseñarse adecuadamente para optimizar los períodos de mantenimiento y explotación.

10.1.3.3 Estructura

La altura máxima del nivel de agua sobre el lecho suele estar entre 1 y 1,5 metros. Conforme el lecho se va ensuciando la altura va a aumentar al incrementarse la pérdida de carga. El lecho filtrante de arena puede tener un espesor variable entre 1,2 y 1,4 metros. Medio metro del lecho podría consumirse en las operaciones de limpieza y siempre quedaría un lecho filtrante de entre 0.7 y 0.9 m. Debajo del lecho de arena debe colocarse una capa de grava que actúe como soporte y filtro de la arena. Debajo de la grava se coloca una solera perforada, ladrillos con huecos o tramos de tuberías sin juntas, que actúan como drenajes de fondo.

Es conveniente tener varios filtros para funcionar de forma alterna (limpieza, maduración, etc.). Para determinar el número de filtros necesarios existen una serie de fórmulas basadas en el caudal a tratar, una de ellas es la siguiente:

$$n \approx \frac{1}{4} \cdot \sqrt{Q} \quad \text{con } Q \text{ en } m^3/\text{hora}$$

El valor de n debe ser siempre igual o mayor de 2.

La superficie de cada unidad de filtración no debe superar los 2000 - 5000 m². Suelen ser siempre mayores de 100 m². Los valores máximos tienen problemas de oleaje.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 205 de 310		



10.1.3.4 Ventajas y limitaciones de la filtración lenta

Ventajas

- Se obtiene un agua de calidad muy elevada. Se llega a reducir la contaminación bacteriológica en tres órdenes de magnitud, que deja a un agua natural en magníficas condiciones, sin utilizar reactivos o tratamientos químicos.
- La construcción es fácil y con materiales sencillos. No se necesitan complementos electromecánicos. El coste de construcción puede ser bajo.
- La explotación y el mantenimiento es sencillo. Se puede utilizar mano de obra no cualificada y el control del rendimiento del proceso es fácil de realizar a partir de la medición de la turbidez.
- Las pérdidas de agua son muy limitadas, no hay agua que deba rechazarse.
- El fango y la biopelícula, junto con una pequeña cantidad de arena, es un buen acondicionador de suelos. No hay problemas con posibles compuestos químicos ya que no se ha añadido ninguno.

Limitaciones

- El coste depende de los países y de las zonas.
- Exige mucho terreno, por lo que podemos encontrarnos que no exista o que sea muy caro.
- En climas extremos, por ejemplo, fríos, la superficie de agua se puede congelar, puede ser necesario cubrir el filtro, con el consiguiente coste.
- El filtro es sensible a los cambios en la calidad del agua bruta, que se precisa constante y con bajas concentraciones de SS.
- El aire, la luz y los elevados tiempos de retención hidráulica pueden permitir el desarrollo de algas que taponen el filtro. Para eliminar la luz puede ser necesario cubrir el depósito.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUÍMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 206 de 310		

10.2 DISEÑO

10.2.1 Consideraciones Generales de diseño

El diseño del filtro permitirá el funcionamiento prolongado y correcto del mismo en condiciones de operación entre el 50% y el 110% del caudal de diseño.

Cada unidad de filtración deberá consistir de un filtro completo, con todos los controles, instrumentos, válvulas actuadas con sus respectivos accesorios de control, carga de lecho filtrante a ser realizada en campo, internos, etc. Deberá ser completamente ensamblado, calibrado y probado antes de su transporte al sitio de instalación. Todas estas acciones se realizan de acuerdo con los requerimientos indicados en la norma ASME Sección VIII, Div. 1, correspondientes a los requerimientos para el diseño de Recipientes a Presión y el material para su construcción se escoge entre los enlistados en la Estándar ASTM.

10.2.1.1 Internos

Todos los internos estarán de acuerdo a la Especificación de la norma ASME. Los filtros deberán ser diseñados para lograr una eficiente separación de los sólidos en suspensión e hidrocarburos del agua, que puedan persistir en el agua luego de los tratamientos previos. El diseño de dichos filtros, deberá incluir, como mínimo, distribuidores de entrada, sistema de soporte del medio filtrante y baffles.

Los internos de los filtros deberán ser resistentes a la corrosión, por lo que se deberán definir los materiales adecuados considerando acero inoxidable 316 y en condiciones más severas se deberá evaluar la posibilidad de emplear acero inoxidable duplex, o bien acero carbono con los recaudos de protección correspondientes. Los mismos deberán estar diseñados para facilitar la secuencia de retrolavado del material del lecho.

El sistema de soporte del medio filtrante podrá ser del tipo falso fondo con toberas de sub-drenaje o tipo colector, el cual podrá ser del tipo tubos con perforaciones.

En caso de que el sistema de soporte del medio filtrante sea tipo colector, se requerirá el empleo de un manto soporte de grava y granate de distinta granulometría, queda excluida la posibilidad de emplear concreto como manto soporte.

10.2.1.2 Lecho filtrante

El lecho filtrante deberá ser calculado para manejar los caudales mínimos de fluido y evitar así la canalización de la corriente a filtrar y la ineficiencia de la operación.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 207 de 310	

El lecho filtrante deberá soportar las condiciones de máximo taponamiento y retrolavado sin que se ocasionen daños físicos sobre el material filtrante durante la operación. A su vez, se deberá informar tiempos estimados para reemplazo del medio filtrante.

10.2.2 Especificaciones de diseño

Se expuso a lo largo de la sección la teoría acerca de la descripción de los filtros, esto es, los tipos, mecanismos de filtración, variables de proceso y consideraciones de diseño. Se procede ahora entonces a detallar las características escogidas para el filtro, de manera que el mismo cumpla con las especificaciones propuestas.

10.2.2.1 Tipo de filtro y mecanismo de filtración


Se recurre a una filtración utilizando un material granular ya que, la cantidad de partículas que deben retenerse es elevada y la dimensión de las mismas es relativamente pequeña. Efectivamente para que una filtración de este tipo sea eficaz, es preciso que las partículas puedan penetrar profundamente dentro del lecho y no bloquearlo en su superficie, como lo hacen los filtros de membrana.

A su vez, dentro de los filtros de lecho filtrante, serán de filtración rápida dado el gran caudal de agua a manipular y la consecuente cantidad de sólidos, ya si se escogería el mecanismo de filtración lenta, el mismo resultaría excesivamente grande.

10.2.2.2 Lecho filtrante

El material filtrante a utilizar será antracita, ya que presenta algunas ventajas por sobre otros materiales filtrantes, como la arena, granate, entre otros. En primer lugar, este material se prefiere dada su mayor eficiencia para retener mediante adsorción restos de hidrocarburos. Además, permite ser lavado sin presentar pérdidas de material.

Por otra parte, el lecho filtrante estará compuesto por tres capas de antracita de diferente granulometría, todas ellas de 50 cm de espesor. La capa inferior tendrá la mayor granulometría y será de un tamaño efectivo de partícula de 1,7 a 2 mm, la capa por encima de esta será de 0,85 a 0,95 mm, mientras que la capa superior será de 0,6 a 0,8 mm. A su vez, todo el lecho filtrante estará soportado por una base de grava de 0,5 m de espesor.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 208 de 310		

10.2.2.3 Flujo

El flujo escogido para el filtro será de tipo ascendente, dado que esta modalidad permite construir un filtro multicapa de un solo material de diferente granulometría, tal como se describió.

10.2.2.4 Características constructivas

La estructura del filtro tendrá una forma geométrica cilíndrica en disposición vertical. La misma estará constituida en chapa ASTM A 516 Grado 70, que corresponde a placas de acero al carbono para temperaturas de servicio moderado y esfuerzos de tensión alta. Las placas que constituyen la estructura del filtro deben estar perfectamente soldadas, arenadas y pintadas.

Dicha estructura, contendrá tanto el lecho filtrante, como la base soporte de grava y los canales y boquillas para la distribución del agua de alimentación y lavado e instrumentación.

10.2.2.5 Dimensiones

Como parámetro básico de diseño se utiliza la velocidad de filtración, que es la relación entre el caudal a filtrar y la superficie horizontal del lecho, y para una filtración rápida se encuentra en valores de entre 4 a 50 m/h. Se escoge una velocidad de aproximadamente 15 m/h y considerando un caudal de diseño de 125 m³/h, se calcula la superficie de filtración y con ello, el diámetro requerido del filtro.

Cabe destacar que el caudal de diseño total es de 250 m³/h, pero se contará con dos unidades de filtración actuando en paralelo, de manera de no diseñar solo una unidad que sea de tamaño excesivo, o bien con una gran velocidad de filtración que resulte poco efectiva.

$$A = \frac{Q}{V}$$

Donde,

A= Área horizontal del filtro, [m²].

Q= Caudal de diseño, [m³/h].

V= Velocidad de filtración, [m/h].

Sustituyendo con los valores, se obtiene un área requerida de aproximadamente 8 m², lo que significa un diámetro de 3 m.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 209 de 310	

Por otra parte, se recomienda que la relación de las dimensiones del filtro, L/D, sean de 1,2 a 2, siendo L la longitud vertical y D su diámetro. Con ello, se considera una altura de 4,5 m.

10.2.2.6 Internos

A fines de lograr una óptima distribución del agua de alimentación, cada filtro cuenta en su parte inferior con un plato con perforaciones. El agua filtrada es retirada por la parte superior a través de una canaleta de rebalse.

Asimismo, cada unidad de filtración cuenta con un sistema de distribución de agua de lavado, el cual está constituido por una entrada de 6", que se subdivide en cañerías de 1,5" provistas en sus extremos por aspersores, los cuales son de tipo cono lleno con un ángulo de apertura de 90°.


10.2.2.7 Lavado

El lavado del filtro se realizará solo con agua, aprovechando el gran caudal de producción obtenido. El mismo se encontrará automatizado, esto es, cuando la pérdida de carga en su interior llegue al valor límite (2 m), se cerrará automáticamente la alimentación y de manera simultánea se abrirá la válvula de agua de lavado. Con ello, se obtiene una carrera del filtro de aproximadamente 12 horas. La pérdida de carga adoptada corresponde a la especificada según la información que se cuenta de experiencias previas.

Cabe destacar que se contará con tres unidades de filtración, de manera que cuando una de ellas se saque de servicio, queden otras dos unidades para actuar en paralelo.

Para calcular el tiempo que requiere el lavado, se realiza el cálculo del volumen total que insume el mismo, sabiendo que en promedio un lavado sólo con agua precisa de 5 m³ por m² de superficie de filtración. Por lo tanto, si el área calculada resultó ser de 8 m², el volumen de agua de lavado será de 40 m³. Además, si esta agua se alimenta al sistema a un caudal de 125 m³/h (igual que el caudal de agua de bruta), el tiempo resultante de lavado será simplemente el cociente entre el volumen y el caudal de agua de lavado.

$$t = \frac{V_{\text{lavado}}}{Q_{\text{lavado}}}$$

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 210 de 310	

Donde,

t = tiempo de lavado, [h].

V_{lavado} = Volumen de agua de lavado, [m^3].

Q_{lavado} = Caudal de agua de lavado, [m^3/h].

Reemplazando con los valores descriptos, se obtiene un tiempo de lavado de 0,32 h, o lo que es idéntico a aproximadamente 20 minutos.

10.2.2.8 Detalles Constructivos

10.2.2.8.1 Protección Catódica

Los recipientes deberán suministrarse con ánodos de sacrificio para protección catódica. Se deberá definir el número de ánodos requeridos para una vida útil mínima de 3 años y de acuerdo con la norma.

10.2.2.8.2 Instalación eléctrica y Puesta a tierra



La instalación eléctrica será antiexplosiva y para intemperie, consistirá en un tablero individual de control y comando por equipo, a partir del cual se distribuirá hacia cada válvula, el sistema de control y todo otro requerimiento para la operación.

La alimentación eléctrica será en 380 V y 50 Hz y el suministro de energía para PLC e instrumentación será en 24 V.

Los tableros contarán con un sistema de contacto y térmico, para protección y maniobra de los motores eléctricos, los cuales deben ser trifásicos, asincrónicos de 380 V y 50 Hz, antiexplosivos y aptos para la intemperie.

Para el caso de interrupciones en el suministro de energía, la alimentación deberá ser mantenida por baterías del tipo celdas secas, con autonomía de 12 horas, con el propósito de proteger las memorias.

Por otra parte, los gabinetes deberán contar con la puesta a tierra para proteger al operador de cualquier descarga, como así también con una puesta a tierra electrónica de los circuitos y cables apantallados, siendo estos la referencia de todas las señales.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 211 de 310	

10.2.2.8.3 Protección anticorrosiva

Toda la superficie interior del filtro o de las conducciones inherentes al mismo, dispondrán de un tratamiento anticorrosivo por aplicación de un proceso de arena y un recubrimiento con pintura epoxi.

De manera similar, la protección de la superficie exterior se realiza con arenado y recubrimiento con pintura, pero en este caso, debe ser esmalte alquídico.

10.2.2.8.4 Conexiones

El número y dimensiones de las conexiones del recipiente deberán indicarse en los planos mecánicos del equipo.


Todas las conexiones sobre el cuerpo del filtro serán bridadas y con un diámetro mínimo de 2". Además, el recipiente deberá proveerse al menos con una boca de hombre de 24" y se instalarán tomamuestras con válvulas de bloqueo esféricas de ½".

10.2.2.8.5 Escaleras y plataformas

El diseño debe incluir escaleras, plataformas y pasarelas que permitan un acceso fácil y seguro a todas aquellas áreas que requieran operación y mantenimiento.

10.3 BIBLIOGRAFÍA

- Arveng Training and Engineering. *Recipientes a Presión*.
- Barranque, C. (1979). *Manual Técnico del Agua*. Ed. Degremont.
- Caranguí, F. (2016). *Desarrollo de un plan para evaluación del sistema de Filtración Rápida de una planta potabilizadora*. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. Cuenca, Ecuador.
- Carbotecnia. (2004). *Filtros de Grava, Arena Sílica y Antracita*. Boletín Técnico AG-009. Mexico.
- Código ASME. *Normas para la Construcción de Recipientes a Presión*.
- Perez, P. *Filtración en el Tratamiento de Aguas*. Universidad Nacional. Facultad de Minas. Chile.
- Suarez, L. Burgos, A. Rodriguez, P. (2014). *Filtración en Medio Granular*. Universidad de Coruña.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de agua de flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 212 de 206		

11 INGENIERÍA BÁSICA

11.1 CELDA DE FLOTACIÓN

11.1.1 Descripción

La flotación es un proceso de separación sólido/líquido basado en la disminución artificial de la densidad de las partículas sólidas (en forma de flóculos), gracias a la fijación por capilaridad de burbujas gaseosas sobre los flocs o las vesículas oleosas a separar.

Su principio teórico de aplicación es conocido por “ley de Stokes inverso”, pues a través de la inyección de burbujas muy finas se reduce la densidad relativa de los aceites y sólidos contenido en el agua para promover su flotación y posterior remoción. La ley de Stokes inversa establece que la velocidad ascensorial con que suben los glóbulos a la superficie, resulta directamente proporcional a la diferencia de densidad con respecto al agua y al cuadrado del radio del sólido. Dicho enunciado, deriva en la siguiente ecuación.

$$V_S = \frac{2g}{9} \frac{r^2 (\rho_p - \rho_l)}{\mu}$$

Donde:

V_S = Velocidad de ascenso de la partícula, [cm/s].

g = aceleración de la gravedad, [cm/s²].

r = radio de la partícula, [cm].

ρ_p = densidad del fluido, [g/cm³].

ρ_l = densidad de la partícula, [g/cm³].

μ = viscosidad del medio continuo, [P].

La flotación con gas modifica dos variables de la Ley de Stokes: la densidad de la partícula y el diámetro de la misma. Al chocarse y adherirse finas burbujas a las partículas, decrece la densidad efectiva del aglomerado resultante y aumenta su diámetro efectivo. El resultado neto es que las partículas se elevan rápidamente hasta la superficie del fluido. Al igual que para las partículas, este fenómeno también aplica a las gotas de aceite que por su tamaño también se encuentran suspendidas en el fluido.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 213 de 310		

Los procesos de flotación básicamente están constituidos por las siguientes etapas:

- ✓ Generación y distribución de burbujas en el agua a tratar.
- ✓ Contacto entre las burbujas de gas y la partícula o gota de aceite suspendido en el agua.
- ✓ Adherencia de la partícula o gota de aceite a la burbuja de gas.
- ✓ Elevación de la combinación de la mezcla aire/ sólido a la superficie donde el material flotante es removido.

El aumento del área interfacial es uno de los parámetros más importantes para aumentar la eficiencia en la operación. En el caso de la flotación, la uniformidad y continuidad del proceso están ligadas al diámetro de burbujas colocadas en la fase líquida. Esto se mejora si hay presencia de microburbujas pues el incremento de su densidad numérica y el aumento del tiempo de residencia elevan la probabilidad de colisión y adhesión del sistema partícula/burbuja.

11.1.2 Tecnologías de flotación

Existen cinco tipos diferentes de sistemas de flotación, su clasificación se basa en el método de formación de burbujas.

1. **Gas/ Aire disuelto:** El gas es liberado de una solución sobre saturada como resultado de la despresurización.
2. **Gas/Aire inducido o disperso:** Es gas o aire es mezclado o inducido mecánicamente para la formación de burbujas.
3. **Inyección por dispersores:** El gas o aire es inyectado directamente al fluido por medio de un dispersor.
4. **Electrólisis:** Las burbujas son generadas por la electrólisis del agua.
5. **Vacío:** El aire es liberado de una solución saturada por una presión negativa.

De todos los métodos nombrados, los más ampliamente utilizados en la industria son los métodos de flotación por gas/aire disuelto (DGF/DAF) y por gas/aire inducido o disperso (IGF/IAF).

Dado que el agua a tratar contiene restos de hidrocarburos, se evita el uso de aire debido a la posible formación de atmosferas explosivas y, por otra parte, debido a sus propiedades altamente corrosivas.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 214 de 310

11.1.2.1 Sistemas de flotación por gas inducido/disperso (IGF)

Los procesos de flotación por gas inducido mecánicamente inyectan gas (CO_2 , N_2 , metano, gas natural, etc) o aire a través de un inyector directamente sobre la celda o equipo de flotación. La generación de burbujas se realiza a través de un rotor o impulsor mecánico el cual corta las burbujas haciéndolas más pequeñas.

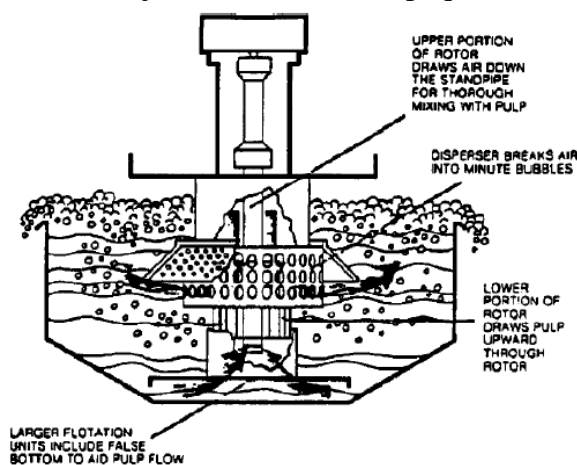


Figura 11.1. Esquema de un sistema de flotación por gas inducido (IGF).

En los sistemas de flotación por gas inducido (IGF), el impulsor a alta velocidad de rotación induce mucha mayor cantidad de gas o aire en la producción de burbujas en un tamaño alrededor de 1000 micras de diámetro.

La cinética del IGF es muy rápida, resultando en un tiempo de retención relativamente corto (15 min o menos) conllevando a reducciones en el tamaño del equipo. Las unidades comerciales de tratamiento de agua que emplean IGF por lo general utilizan multiceldas o celdas en serie en el diseño. Alcanzando porcentajes de remoción del 97.5 %.

11.1.2.1.1 Factores de rendimiento para sistemas IGF

Existen diversos métodos que permiten cuantificar y controlar los procesos de flotación por inyección de gas y estos se basan en la dispersión de gas en la cámara de flotación. Para establecer el grado de dispersión de gas se conoce los siguientes indicadores más relevantes: tamaño de burbuja (D_b), velocidad superficial del gas (J_g), “holdup” de gas (E_g) y (S_b) flujo de área superficial de burbujas.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 215 de 310		

➤ Tamaño de Burbuja (Db)

El indicador más utilizado y que comprende información sobre la superficie y volúmenes de las burbujas en la celda, lo constituye el diámetro de burbuja. A continuación, se muestra una gráfica donde se indica la influencia del flujo (litros/segundo) y los RPM del rotor con respecto al tamaño de burbuja.

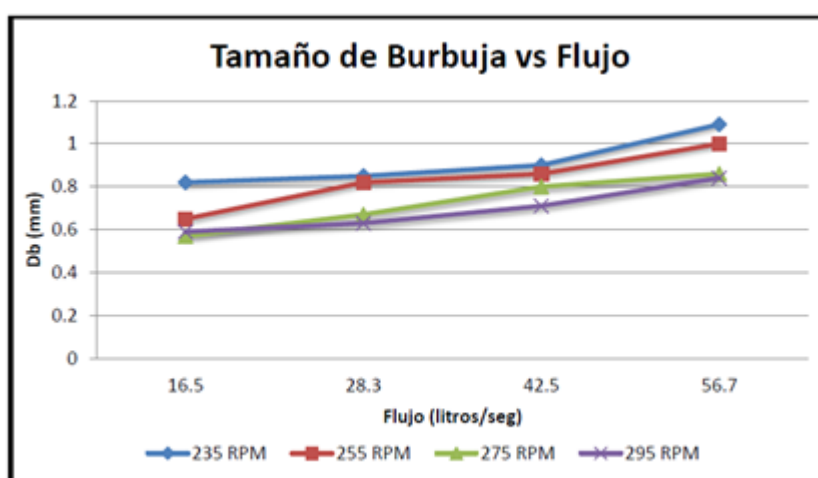


Gráfico 11.1. Tamaño de Burbuja vs Flujo.

➤ Velocidad Superficial del gas (Jg)

La velocidad superficial del gas, estima la velocidad con que las burbujas ascienden por la celda. La estima como la simple división del flujo del gas que entra a la celda (Q) y el área (A) efectiva de sección transversal de la celda. Se dice que sólo la estima, ya que la velocidad de ascenso de las burbujas depende, en gran medida, del tamaño de ellas, de la viscosidad del medio líquido y de otros factores, tal como lo establece la ecuación de Stokes.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERÍA QUÍMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 216 de 310

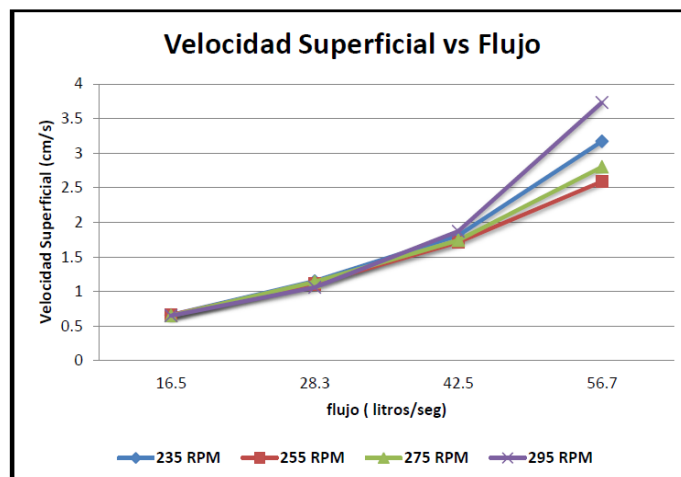


Gráfico 11.2. Velocidad Superficial del gas (Jg) vs flujo a diferentes RPM motor.

➤ Hold up de Gas (Eg)

Este indicador representa la fracción de volumen de gas contenida en la celda. Para medirla, existen varias alternativas. La técnica directa, que consiste en medir diferencias de peso o volumen causadas por las burbujas y una técnica indirecta, que consiste en medir las diferencias de la conductividad eléctrica con o sin presencia de burbujas. Es un valor adimensional expresado en porcentaje (%).

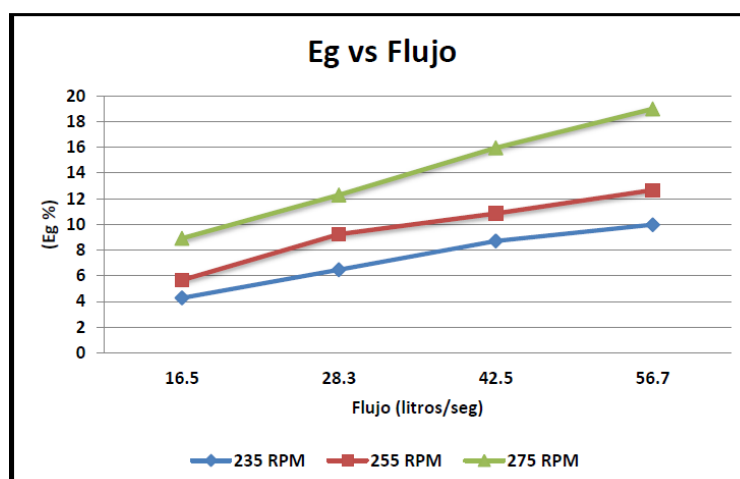


Gráfico 11.3. Hold up del gas (Eg) vs flujo a diferentes RPM motor.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 217 de 310		

➤ Flujo de Área Superficial de Burbujas (Sb)

Los resultados de la flotación están asociados a la capacidad de las burbujas de transportar las partículas de interés. Esta capacidad depende, principalmente, de la superficie total de gas disponible en la celda, para realizar el transporte. La superficie, está determinada por la cantidad de gas que entra a la celda y por la forma en que se está distribuyendo, es decir al tamaño de burbuja.

Esto último, corresponde al tamaño de las burbujas. De esta manera, surge la necesidad de un indicador que relacione el flujo de gas con el tamaño de las burbujas. Así se define (Sb) flujo de área superficial.

$$Sb = \frac{6 * J_g}{d_b}$$

Este indicador, representa el flujo de superficie de burbuja por unidad de área transversal de celda. Tiene unidades de (cm² de burbuja/s)/(cm² de celda). El *Gráfico 11.4* muestra el incremento del flujo del área superficial con respecto al flujo de alimentación a la celda y a los RPM del motor del impulsor.

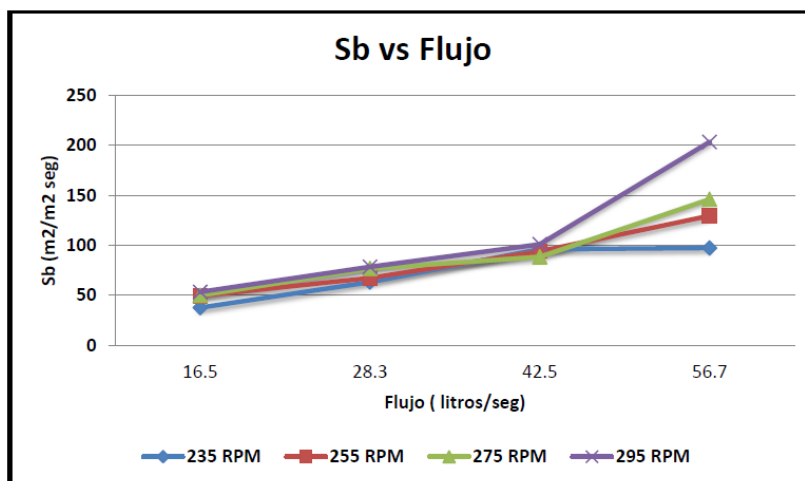


Gráfico 11.4. Flujo de Área Superficial de Burbujas (Sb) vs flujo a diferentes RPM motor.

➤ Cinética de proceso (k)

Los procesos de flotación contemplan caracterizar su rendimiento a partir de su constante cinética “k” en la cual nos permite medir la velocidad de remoción con respecto a su concentración (litros/segundo). La constante cinética va a depender de todos los índices antes mencionados. Sin embargo, es posible inferir a partir del área superficial de burbujas una relación entre ambas.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 218 de 310		

$$Rc = \frac{k_c * \tau}{1 + k_c * \tau}$$

Donde:

Rc= recuperación debido a la flotación en la pulpa,

kc= constante cinética de flotación,

τ= tiempo en el proceso de flotación.

El gráfico 5 muestra una relación entre la constante cinética y el área superficial de burbujas.

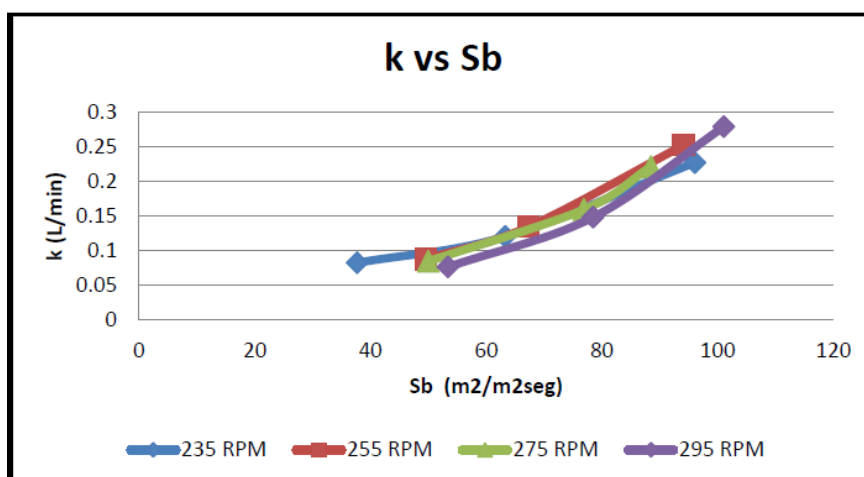


Gráfico 11.5. Constante cinética (k) VS Flujo de Área Superficial de Burbujas (Sb).

De todas las expresiones aquí mostradas, es posible concluir que el área superficial de las burbujas va a direccionar el rendimiento de la celda o celdas de flotación por ende la tendencia es a incrementar el área superficial de las burbujas, es decir a menor tamaño de burbujas se mejorará el rendimiento del sistema de flotación.

11.1.2.2 Sistemas de flotación por gas disuelto (DGF)

En la tecnología de flotación por gas disuelto, el gas empleado para la flotación se disuelve mediante un proceso de presurización efectuado en una cámara presurizadora.

El fluido presurizado (30 – 85 psi) pasa a través de una válvula liberadora de presión y luego es liberado dentro de un tanque flotador hasta alcanzar la presión atmosférica. La acción de la válvula provoca la disolución del gas, liberándose en forma de burbujas muy finas o microburbujas en un rango de 40 a 70 micras. Las burbujas se adhieren a la superficie del sólido arrastrándolos consigo hasta la superficie.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 219 de 310

Las partes más importantes de un equipo de flotación por gas disuelto son: Bomba de presurización, Sistema para inyección de aire/gas, Tanque o equipo de retención o saturación, Válvula reductora de presión, Tanque de flotación y los sistemas de adición de químicos. Cada uno de estos componentes se muestran en la *Figura 11.2*.

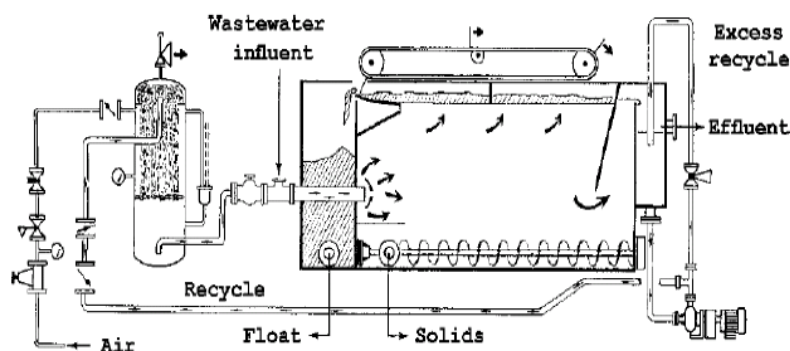


Figura 11.2. Esquema de un sistema de flotación por gas disuelto (DAF).

Existen varios esquemas de presurización de la línea de flujo que pueden ser usados en la secuencia de presurización: flujo total, flujo dividido y recirculación.

➤ Flujo Total

Toda el agua es presurizada y saturada con gas. Con ello se incrementa la probabilidad de contacto partícula – burbuja. Sin embargo, promueve esfuerzos adicionales de la bomba y los procesos de reducción de presión producto del mayor contenido de sólidos presentes. Además, los aceites tienden a ser más emulsionados por el esfuerzo de corte en el bombeo, incrementando la dificultad de separación.

➤ Flujo Dividido

En este caso parte del agua es dividido a través del sistema. Se mejoran los costos de bombeo, capacidad de manejar variaciones de flujo y la ruptura de flóculos son aspectos muy positivos de esta alternativa. Sin embargo, al igual que el caso anterior persisten los problemas de esfuerzos de los flóculos y de emulsiones con los aceites además de la reducción de la cantidad de gas de alimentación y la presencia de sólidos aún abrasivos para el sistema.

➤ Recirculación

En este esquema, entre el 20 al 50 % del agua tratada es retornada al sistema de presurización, evitando la ruptura de los flóculos o la demulsificación de los aceites no

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 220 de 310		

tratados. Sin embargo, esto incrementa el tamaño del equipo debido al incremento de la carga hidráulica de ingreso total de flujo.

11.1.2.2.1 Factores de rendimiento de sistemas DGF

Con la finalidad de definir los principales factores que influyen en los procesos de separación de sólidos y aceites a través de la flotación por gas disuelto con recirculación, a través de un balance de masa global y por componente se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{G}{S} = \frac{R}{Q} \cdot \frac{So(fPa-14.7)}{Xo}$$

Donde:

G/S= relación gas sólido y aceites, [mg/mg] o [ml/ml] (v/v).

R= flujo en el reciclo, [m³/s].

Q= flujo de alimentación, [m³/s].

Xo= concentración de sólidos y aceites del sistema.

So= solubilidad del gas en el agua a la presión atmosférica o la constante de Henry, [mo/L.PSI]

f= eficiencia del proceso de saturación.

A continuación, se describirán los principales efectos de estas variables sobre la remoción de sólidos y aceites.

➤ Solubilidad del gas

Los sistemas de flotación por gas disuelto tienen su clave en la formación de burbujas a partir de la disolución del gas bajo presión y su posterior liberación para formar burbujas en una cámara alterna. La cantidad de gas es gobernada bajo la ley de Henry la cual establece que un gas se disuelve en un volumen dado de líquido es directamente proporcional a la presión de gas. La expresión matemática es la siguiente:

$$Cg = K_{Hg} \cdot Pg$$

Donde:

Cg= concentración del gas, [mol/L].

Pg= presión parcial de gas, [PSI] y

KHG= constante de solubilidad de Henry para un gas específico, [mol/L PSI].

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 221 de 310		

Por lo tanto, la cantidad de gas disuelto y por ende liberado durante el proceso están en función de la presión inicial. Así mismo, se conoce que un incremento de temperatura entre 0°C a 30 °C reduce la solubilidad en un 45 % y la salinidad reduce la solubilidad en un 19 % de 0 a 20 000 ppm de sales en el agua. Por lo tanto, se considera que la constante de Henry depende de la temperatura y del contenido de sales en el agua.

➤ Tamaño de burbuja

En los sistemas de flotación por gas disuelto se obtienen un tamaño de burbuja entre 45 a 115 micras con un diámetro medio de 75 a 85 micras bajo una presión entre 20 a 50 psi de saturación, encontrándose una mejor capacidad de arrastre a menores diámetros de flujo (menores a 130 micras).

El número y tamaño de burbujas de gas o aire formado está en función del medio físico químico del agua. Además, la tensión superficial y la concentración de sólidos disueltos son también parámetros que influyen en el tamaño de las burbujas. Por otro lado, a incrementos de temperatura el tamaño de burbuja también se reduce y a mayor presión de saturación el tamaño de burbujas promedio es mejor que a presión de saturaciones bajas.

➤ Velocidad de elevación

Por los grandes volúmenes de agua a tratar, el tiempo de retención o de residencia es una variable muy importante del proceso. El tiempo de retención es dependiente de la velocidad de elevación de la burbuja, la cual puede ser calculada empleado la ley de Stokes para sistemas de flotación. La *Tabla 11.1* muestra la velocidad de elevación en función al tamaño de burbuja.

Tabla 11.0.1. Velocidad de ascenso en función del diámetro de burbuja.

VELOCIDAD DE ELEVACIÓN EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE BURBUJA		
DIÁMETRO DE BURBUJA	VELOCIDAD DE ASCENSO	
	(cm/s)	(ft/min)
0.2	1	2
1	15	30
10	25	50
50	55	110

➤ Relación gas/sólido

Es un parámetro importante en el proceso de elevación de sólidos y aceites vía arrastre por microburbujas, el cual está definido como la masa de gas o aire liberado

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 222 de 310

(proveniente de la despresurización de la línea saturada con gas o aire) por unidad de masa de sólidos y/o aceites en el agua a tratar.

Se conoce que la cantidad de gas empleado va a definir la capacidad de remoción del proceso, es decir ante una menor cantidad de gas también se reduce la eficiencia del proceso y ante grandes cantidades de gas en el sistema es posible perder energía producto de una presurización de gas en exceso. Implicando llevar el proceso a condiciones óptimas de trabajo.

El efecto de remoción de sólidos está, como se mencionó antes, gobernada bajo la ley de Stokes, la participación de las burbujas de gas es reducir la densidad relativa de las partículas, permitiéndole con ello su flotabilidad.

La siguiente ecuación muestra la relación directa entre el gas aportado y la velocidad de elevación.

$$\frac{A}{S} = \frac{C_s}{X_f} (f P_a - 1)$$

Donde:

A/S= relación Gas/Sólidos + aceites, [mg/mg]

C_s= solubilidad del aire a 1 atm de presión y la temperatura de operación, [mg/L].

P_a= presión de saturación absoluta, [atm absoluta].

f=fracción (o eficiencia) de aire realmente disuelto a la presión elevada en la cámara de saturación (típicamente f es 0.8).

1= aire liberado en la solución a la presión atmosférica.

➤ Tiempo de residencia

El tiempo de residencia y la carga hidráulica, mantienen una relación muy cercana y con la suficiente información es posible interpretarlas como un solo valor. Sin embargo, para fines prácticos el tiempo de residencia varía entre 20 a 60 minutos y va a depender del tipo de carga a procesar y los volúmenes de tratamiento.

11.1.2.3 Comparación de las tecnologías de flotación IGF y DGF

Se ha mencionado con anterioridad que las tecnologías de flotación por aire inducido y por aire disuelto son las más ampliamente utilizadas en la industria, dado que son los sistemas que presentan una relación más favorable entre eficiencia, costo, mantenimiento y requerimiento de espacio.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 223 de 310

Sin embargo, es preciso comparar ambos métodos de inyección de gas para escoger aquel que se ajuste mejor a las necesidades existentes, de acuerdo a los parámetros manejados. Dicha comparación se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 11.2. Comparación de tecnologías de flotación.

Parámetro	Tecnología IGF	Tecnología DGF
Diámetro de burbuja [μm]	100-1000	40-70
Velocidad de ascenso [cm/s]	1,5	0,1
Número de burbujas/cm ³	2.10 ⁵	3.10 ⁶
Área superficial de burbuja [cm ² /cm ³]	300	800
Consumo de energía [W/gpm]	100-150	75-100
Tiempo de residencia [min]	2-15	20-60
Presión de operación [PSI]	Hasta 15	20-50
Costo de inversión	Bajo	Dos veces el costo del IGF
Caudal [m ³ /h]	70-1000	5-300

De ambas tecnologías comparadas, se escoge la flotación por gas inducido, y se darán a continuación las razones de dicha elección.

- Si bien a menor tamaño de burbuja se logran mayores áreas superficiales de contacto y con ello un aumento en el rendimiento del sistema de flotación, este efecto puede resultar contraproducente, dado que también trae aparejados menores tiempos de ascenso, lo cual, para un determinado caudal, el área superficial requerida es mayor. Adicionalmente, el sistema de gas disuelto requiere de mayores tiempos de residencia y con ello el volumen del equipo aumenta considerablemente.
- Aunque los costos de energía del sistema IGF son mayores, se ven ampliamente contrarrestados con los mayores costos de inversión requeridos por el método DGF.
- El líquido en los sistemas IGF es circulado en cada celda de 2 a 3 veces desde las zonas de contacto y flotación, antes de pasar a la próxima celda, por lo que, si se tienen cuatro celdas operando en serie, el flujo tiene de 8 a 12 oportunidades de tomar contacto con las burbujas de gas. Esto es mejor, comparable con la simple chance que tienen en los equipos DAF. Para lograr este efecto, las celdas con gas disueltos deben incorporar un sistema de reciclo.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 224 de 310

- El valor de la solubilidad de un gas es dependiente tanto de la presión, como de la temperatura y la salinidad del agua, por lo cual, es un parámetro muy variable en el proceso.
- La instalación y operación en los sistemas IGF resuelta más sencilla que en los DGF.
- Para el gran caudal de agua a manejar (250 m³/h) es más conveniente el sistema IGF.

11.1.3 Diseño

11.1.3.1 Consideraciones generales

El diseño de la unidad de flotación permitirá el funcionamiento prolongado y correcto de la misma en condiciones de operación entre el 50% y el 120% del caudal de diseño. El equipo constará de cuatro (4) celdas en serie utilizando gas inducido en forma mecánica por lo que, cada una de las celdas deberá contar con su dispositivo de burbujeo (turbina o eyector).

A su vez, la unidad completa de flotación debe contar con todos los controles, instrumentos, válvulas actuadas con sus respectivos accesorios de control, internos, etc. Además, deberá ser completamente ensamblada, calibrada y probada antes de su transporte al sitio de instalación.

11.1.3.2 Recipiente de flotación

El recipiente de flotación será autosoportante, construido íntegramente en chapa de acero al carbono de 6,4 mm de espesor mínimo. El mismo dispone de los siguientes sectores:

- Área de ingreso del influente.
- Cuatro celdas de flotación: de igual capacidad cada una de ellas. En cada celda en operación se separa el 75% de los contaminantes que entran a la misma.
- Una cámara colectora de 120% del volumen de celda.
- Skid de bombas a diafragma para recolección de flotados. Cada bomba debe poseer dos válvulas mariposas de bloqueo que actuarán mediante la señal de alto/bajo nivel de la cámara de flotados.

11.1.3.3 Dimensiones

Para determinar las dimensiones de la unidad de flotación basta con recurrir a algunos de los datos provistos en la *Tabla 11.2*, que, junto con los parámetros de diseño, son suficientes para calcular las dimensiones básicas del equipo, aplicando las ecuaciones que se muestran a continuación.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 225 de 310	

$$Q = \frac{V}{tr}$$

Ecuación 11.1

Donde:

Q= Caudal de diseño, [m³/h].

tr= Tiempo de residencia, [h].

V= Volumen de recipiente de flotación, [m³].

Despejando el volumen de la ecuación y sustituyendo por el tiempo de residencia requerido de 15 minutos (0,25 horas) y el caudal de diseño de 250 m³/h, se obtiene finalmente un valor de 62,5 m³, que si se divide por el número de celdas (4), se obtiene un volumen de cada celda de aproximadamente 15 m³.

Por otra parte, para saber el área de cada celda se plantea la siguiente ecuación.

$$A = \frac{Q}{V_s}$$

Ecuación 11.2

Donde:

A=Área de celda, [m²].

Q= Caudal de diseño, [m³/s].

V_s= Velocidad ascensorial, [m/s].

Nuevamente, se sustituye por los valores conocidos de caudal de diseño (250 m³/h o lo que es idéntico a 0,07 m³/s) y de velocidad ascensorial (1,5 cm/s o 0,015 m/s). Con ello, se obtiene un área de celda de aproximadamente 5 m². Si cada celda tiene un área cuadrada, cada lado de la misma tendrá una longitud de 2,25 m.

La altura de cada celda, y, por consiguiente, la de la unidad de flotación, se obtiene simplemente dividiendo el volumen obtenido para cada celda por el área requerida para las mismas.

$$h = \frac{V}{A}$$

Ecuación 11.3

Donde:

h= Altura de la celda, [m].

V= Volumen de una celda, [m³].

A=Área de una celda, [m²].

Con los datos de volumen y área obtenido recientemente, se calcula un valor de altura de aproximadamente 3 m.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 226 de 310		

11.1.3.4 Internos

11.1.3.4.1 Conjunto de agitación

Cada una de las celdas debe contar con un conjunto de agitación compuesto por un motor eléctrico trifásico, transmisión poleas/correas, caja de cojinetes, caño stand-pipe, eje y rotor, dispersores, montado sobre una placa abulonada a la cubierta de cada celda con su junta de hermeticidad. Los materiales constructivos deben ser de acero inoxidable, AISI 316L.

11.1.3.4.2 Baffles de separación

Cada una de las celdas de flotación se encuentra separada de la adyacente, mediante baffles abiertos en el fondo y extendidos hasta el tope, de manera de evitar el pasaje de los contaminantes de celda a celda. Estos baffles tienen un espesor de 6 mm como mínimo y una longitud del 80% de la longitud total de la celda.

11.1.3.4.3 Paletas giratorias

La espuma junto con los barros e hidrocarburos son retirados de la superficie del agua mediante unas paletas giratorias (28 rpm), montadas a lo largo del equipo, que arrastran la espuma sobrenadante a los colectores laterales dispuestos a tal efecto. Estas paletas están construidas en acero inoxidable AISI 316L y montadas de a pares sobre un eje cromado de 1 ¼” de diámetro.

11.1.3.5 Alimentación de gas

El volumen de gas inducido dentro de cada celda se encuentra entre 0,05 a 0,075 m³/min (datos promediados por distintos fabricantes) por m³ de celda a una presión de aproximadamente 1 Kg/cm². Por lo tanto, si cada celda posee un volumen de 15 m³, el caudal requerido de gas será de 0,75 -1,125 m³/min (45 – 67 m³/h).

A su vez, se debe corroborar que el caudal calculado de gas se alimente a una relación respecto a los sólidos de al menos, 0,1. Lo cual se verifica que es superado ampliamente.

Es importante aclarar que el circuito de gas poseerá una entrada con válvula reguladora y válvula de bloqueo general, desde la cual se distribuirá el gas a todo el equipo con la presión regulada.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 227 de 310

11.2 TANQUE REACTOR

11.2.1 Descripción

Un reactor químico es el dispositivo donde ocurre un cambio en la composición debido a la reacción química. Por lo tanto, es cualquier recipiente donde ocurre una reacción química.

Para el diseño de un reactor químico es preciso conocer la cinética química de la reacción que se lleva a cabo en el mismo, la cual puede definirse como el estudio de las velocidades y los mecanismos de esta. La velocidad de reacción indica la rapidez con que se consume cierta cantidad de moles de una especie química para formar otra especie química. A su vez, el término especie química se refiere a cualquier compuesto o elemento químico con una identidad dada, la cual queda determinada por el tipo, el número y la configuración de los átomos de esa especie. Si se simboliza una especie química genérica j , el símbolo r_j , indica la velocidad de formación de dicha especie, si la misma se trata de un producto. De manera contraria, si la especie j es un reactivo, el símbolo $-r_j$ (negativo) indica la velocidad de desaparición, es decir, el número de moles de j que reaccionan (desaparecen) por unidad de tiempo por unidad de volumen. La ecuación de velocidad (es decir, la ley de velocidad) para r_j , es una ecuación algebraica que es solo una función de las propiedades de los materiales que reaccionan y las condiciones de reacción (es decir, concentración de las especies, temperatura, presión, etc.) en un punto del sistema y es independiente del tipo de reactor en el cual se efectúa la reacción. Sin embargo, como las propiedades y las condiciones de reacción de los materiales que reaccionan pueden variar con la posición en un reactor químico, r_j también puede ser una función de la posición y variar de un punto a otro del sistema.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 228 de 310	

11.2.2 Ecuación general de balance molar

Para realizar un balance de moles en cualquier sistema, en primer lugar, hay que especificar las fronteras del mismo. El volumen encerrado por dichas fronteras se conoce como volumen del sistema. Un balance de moles para la especie j dentro del volumen del sistema en cualquier instante de tiempo t , da la siguiente ecuación.

$\left[\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{flujo de } j \text{ que} \\ \text{entra al sistema} \\ \text{(moles/tiempo)} \end{array} \right]$	$-$	$\left[\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{flujo de } j \text{ que} \\ \text{sale del sistema} \\ \text{(moles/tiempo)} \end{array} \right]$	$+$	$\left[\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{generación de } j \text{ por} \\ \text{reacción química} \\ \text{dentro del sistema} \\ \text{(moles/tiempo)} \end{array} \right]$	$=$	$\left[\begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{acumulación} \\ \text{de } j \text{ dentro} \\ \text{del sistema} \\ \text{(moles/tiempo)} \end{array} \right]$
Entrada	$-$	Salida	$+$	Generación	$=$	Acumulación
F_{j0}	$-$	F_j	$+$	G_j	$=$	$\frac{dN_j}{dt}$

Ecuación 11.4. Balance molar de la especie j .

Donde, N_j representa el número de moles de la especie j en el sistema en el tiempo t . Si todas las variables del sistema son espacialmente uniformes en todo el volumen del mismo, la velocidad de generación de la especie j , G_j , es simplemente el producto del volumen de reacción V , por la velocidad de formación de la especie j , r_j .

$$G_j = r_j \cdot V$$

$$\frac{\text{moles}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{moles}}{\text{tiempo} \cdot \text{volumen}} \cdot \text{volumen}$$

Ecuación 11.5. Velocidad de generación de la especie j Si todas las variables del sistema son espacialmente uniformes.

Si la velocidad de formación de la especie j para la reacción varía con la posición dentro del volumen del sistema, entonces debe obtenerse mediante integración, y si se sustituye en la *Ecuación 11.4*, da como resultado la *Ecuación 11.6*, que es una ecuación básica para el diseño de reactores.

$$F_{j0} - F_j + \int^V r_j dV = \frac{dN_j}{dt}$$

Ecuación 11.6. Ecuación general de balance.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 229 de 310		

11.2.3 Clasificación de reactores químicos

Los reactores químicos se pueden clasificar, de acuerdo a su mecanismo de funcionamiento en los siguientes tipos:

11.2.3.1 Reactor homogéneo

Los reactores homogéneos son aquellos donde los reactivos, inertes y catalizadores se hallan en la misma fase (líquido en reactores tipo tanque o fluido en los tubulares).

11.2.3.2 Reactores intermitentes

Un reactor intermitente (Batch), es aquel que trabaja en estado no estacionario usado a menudo en investigaciones cinéticas dentro del laboratorio, sin embargo, también se le puede encontrar en operaciones industriales a pequeña escala o pruebas piloto. El más sencillo es un tanque agitado. Cuando la reacción se está llevando a cabo, ningún compuesto ingresa o sales del reactor hasta que la reacción culmine.

Debido a la forma en que opera, se presentan las siguientes características.

- El reactor intermitente es un sistema cerrado; por lo tanto, la masa total del mismo es constante.
- El tiempo de residencia (t_r) de todos los elementos del fluido es el mismo.
- Este tipo de reactor opera en estado no estacionario por lo que las concentraciones varían con el tiempo.
- Sin embargo, y debido a la agitación puede asumirse que, en un tiempo determinado, dentro del reactor la composición y la temperatura son homogéneas.

Aplicaciones

- Producciones a pequeña escala.
- Para la producción farmacéutica.
- En los procesos de fermentación.
- Para procesos complicados de productos costosos.
- Típicamente, para reacciones en fase líquida que requieren largos tiempos de reacción.
- Sólo se utiliza cuando se requiere una pequeña cantidad de producto.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 230 de 310		

Ventajas

- Elevada conversión por cada unidad de volumen en cada etapa.
- Flexibilidad en las operaciones. Un mínimo reactor puede producir en un tiempo determinado compuesto y después otro.
- De simple construcción.
- Muy fácil de limpiar.
- Los datos pueden ser recogidos fácilmente si las reacciones isotérmicas se llevan a cabo en condiciones de volumen constante.

Desventajas

- Altos costos de mano de obra por lote.
- Preferido para las reacciones homogéneas solamente.
- La calidad del producto es más variable que un reactor continuo.
- Dificultad en la producción a gran escala.

Balance Molar

Un reactor intermitente no tiene ni flujo de entrada ni flujo de salida de reactivos o productos mientras la reacción se lleva a cabo, por lo que el balance general de moles resultante para la especie j es la siguiente.

$$\frac{dN_j}{dt} = \int^V r_j dV$$

Ecuación 11.7. Balance general de moles para la especie j en un reactor intermitente.

Si la mezcla de reacción es perfecta, de manera que no hay variación en la velocidad de reacción en todo el volumen del reactor, es posible sacar r_j de la integral, integrar y luego reordenar, para obtener la ecuación de forma integral de balance de moles de un reactor intermitente, la cual indica el tiempo t_1 , necesario para reducir el número de moles de N_{A0} a N_{A1} .

$$t_1 = \int_{N_{A1}}^{N_{A0}} \frac{dN_A}{-r_A V}$$

Ecuación 11.8.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 231 de 310		

11.2.3.3 Reactores de flujo continuo

Los reactores de flujo continuo operan la mayoría de las veces en estado estacionario. De este tipo de reactores es usual encontrar tres variantes: reactor continuo de mezcla perfecta (CSTR), reactor de flujo tapón (PFR) y reactor empacado (PBR). A continuación, se realiza una descripción de cada uno de ellos.

11.2.3.3.1 Reactor de mezcla completa

También conocido como Reactor de mezcla completa de flujo continuo, Reactor de tanque agitado y por sus siglas en inglés CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor).

Estos reactores trabajan en estado estacionario, es decir que sus propiedades no varían con el tiempo. Supone que la reacción alcanza la máxima conversión en el instante en que la alimentación entra al tanque, (en cualquier punto de este equipo las concentraciones son iguales a las de la corriente de salida).

En este tipo de reactor se considera que la velocidad de reacción para cualquier punto dentro del tanque es la misma y suele evaluarse a la concentración de salida.

Debido a las propiedades del flujo, este reactor presenta las siguientes características:

- Dado que se presenta una agitación eficiente y el fluido dentro del recipiente esta uniformemente mezclado (por tanto, todos los elementos de fluido están uniformemente distribuidos), todos los elementos del fluido tienen la misma probabilidad de abandonar el reactor en cualquier tiempo.
- Existe una distribución de tiempos de residencia (t_r). Dicha distribución puede apreciarse intuitivamente considerando lo siguiente:
 - a) Un elemento de fluido puede moverse directamente desde la entrada a la salida, puede existir un tiempo de residencia muy corto.
 - b) Otro elemento del fluido puede participar en el movimiento de reciclado producto de la agitación y por lo tanto presentar un tiempo de residencia largo.
- Como consecuencia de la agitación eficiente las propiedades (concentración, temperatura) dentro del reactor son uniformes. Se puede observar que la corriente de salida también presenta las mismas propiedades que el fluido dentro del recipiente.
- Como consecuencia de la característica anterior, debe existir un cambio en escalón desde el valor de entrada al valor de salida de cualquier propiedad del sistema.
- La velocidad de reacción es constante dentro del reactor.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 232 de 310		

- Dado que la densidad en el sistema de flujo no es necesariamente constante, la densidad de las corrientes puede cambiar entre la entrada y la salida.
- Puede adicionarse un intercambiador de calor para controlar la temperatura.

Aplicaciones:

- Se usa generalmente para líquidos.
- Cuando se desea una operación continua.
- Para reacciones ligeramente endotérmicas o exotérmicas.

Ventajas:

- Su costo de operación es bajo comparado con el de los reactores por lotes.
- Su operación es continua.
- Se facilita el control automático de la producción.
- Se tiene una sola temperatura en el sistema de reacción.

Desventajas:

- Su costo inicial es alto.
- Para tiempos de residencia muy altos su tamaño también será alto.
- En general son menos eficientes que un reactor tubular.

Ecuación de diseño

Cuando la ecuación general de moles se aplica a un CSTR que opera en estado estacionario, se tiene:

$$\frac{dN_j}{dt} = 0$$

En el cual, no hay variaciones espaciales en la velocidad de reacción, por lo que la ecuación adopta la siguiente forma:

$$V = \frac{F_{j0} - F_j}{-r_j}$$

Ecuación 11.9. Ecuación de diseño de un CSTR.

La ecuación de diseño del CSTR da el volumen de reactor V , necesario para reducir la velocidad de flujo de entrada de la especie j , desde F_{j0} a la velocidad de flujo de salida

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 233 de 310		

F_j , cuando la especie j desaparece a velocidad de $-r_j$. A su vez, la velocidad de flujo molar, F_j , es simplemente el producto de la concentración de la especie, j , y la velocidad de flujo volumétrico, v :

$$F_j = C_j \cdot v$$

$$\frac{\text{moles}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{moles}}{\text{volumen}} \cdot \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$$

11.2.3.3.2 Reactor de flujo pistón

Este tipo de reactor supone un flujo ideal de pistón, lo que significa que la composición del fluido varía de un punto a otro a través de la dirección del flujo y la conversión es función de la posición. Las reacciones químicas se desarrollan en un sistema abierto. Todos los reactivos se introducen continuamente y los productos se extraen en forma continua. Operan en régimen estable, por lo cual ninguna de las propiedades del sistema varía con relación al tiempo en una posición dada. La temperatura, la presión y la composición varían con relación a la longitud del reactor y no existe mezclado axial del fluido dentro del recipiente. Las propiedades del fluido, incluyendo la velocidad de flujo, en el plano radial (perpendicular al sentido de flujo) son uniformes. Esto puede lograrse si existe un mezclado completo en esa dirección. La densidad de las corrientes puede cambiar en la dirección del flujo. Puede existir transferencia de calor a través de las paredes del reactor.

Aplicaciones:

- Se usa para sistemas reactivos que sean gases y vapores.
- Cuando se desea una producción grande en forma continua.
- Para reacciones exotérmicas o endotérmicas.
- Cuando están empacadas con partículas de catalizador actúan como reactores de lecho fijo.
- Si las partículas corresponden a un reactor, actúan como reactores heterogéneos sólido-gas.

Ventajas:

- Su costo de operación es bajo comparado con el de los reactores por lotes.
- Su operación es continua.
- Se facilita el control automático de la producción.
- En general es más eficiente que el reactor continuo tipo tanque.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 234 de 310

Desventajas:

- Su costo inicial es alto.
- No recomendables para desarrollar reacciones que tengan elevados tiempos de residencia.
- El tiempo de residencia permanece fijo para un flujo dado de alimentación.

11.2.3.4 Reactores heterogéneos

Los reactores heterogéneos involucran dos o más fases reactivas (gas-sólido, líquido-gas, sólido-líquido o líquido-líquido), de contacto en torres o reactores agitados.

A su vez, los sistemas heterogéneos pueden ser catalíticos no. En los primeros, existe un agente catalizador que interviene activamente en la reacción, en general facilitando la misma, pero que no es consumido por ésta.

11.2.3.5 Reactores catalíticos

Suelen ser de dos tipos: fluidizado o de lecho empacado, la elección depende de la reacción de interés y del mecanismo cinético observado.

En los reactores de *lecho fluidizado* el flujo es complejo, no es bien conocido, solo se puede estimar de forma aproximada los mecanismos de transferencia de masa, desde el punto de vista de transferencia el contacto no es muy eficiente debido a la diferencia de varias barreras físicas, esto obliga a usar una mayor cantidad de catalizador. El control de temperatura se realiza de forma más fácil comparado con el reactor de lecho empacado. La reactivación del catalizador en caso de ser necesaria es más fácil y eficiente debido a la fluidización presente debido a que es posible bombear y transportar el catalizador. Este tipo de flujo es adecuado para partículas de tamaño pequeño, ideal para reacciones rápidas en donde se necesita un área de contacto grande.

En el reactor de *lecho empacado* la regeneración del catalizador requiere del uso de gases; es común usar un sistema de re-circulación a fin de aumentar la eficiencia de reactivación. Este sistema presenta dificultades en el control de temperatura debido a la formación de zonas calientes y frías en el interior del lecho.

Nota: Cabe aclarar que no se mostraron las ecuaciones de diseño de los tres últimos reactores vistos dado que las mismas requieren algo más de complejidad, y carece de sentido su explicación pues no se cuenta con estos tipos de reactores en el proceso.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 235 de 310		

11.2.4 Consideraciones de diseño

De acuerdo a las características mencionadas de cada tipo de reactor, y, considerando las condiciones operativas que requiere el proceso (flujo continuo, estado estacionario, uniformidad en el producto obtenido, el caudal de procesamiento, etc.) el tipo de reactor que más se adecúa al proceso es el reactor de mezcla completa.

Debido a que, en el reactor seleccionado, se llevarán a cabo más de una reacción en simultáneo, los datos de la velocidad de reacción, fueron obtenidos a través de una experiencia en el laboratorio. De este modo, se pudo corroborar la factibilidad de la realización de dichas reacciones, la influencia de unas con otras, y el efecto que producen variables como la temperatura o la fuerza iónica presente en la alimentación, y por tanto en el reactor.

11.2.4.1 Experiencia en el laboratorio

11.2.4.1.1 Objetivo

Determinar el tiempo de residencia en el reactor necesario para la precipitación de los iones calcio, hierro y magnesio como carbonatos e hidróxidos presentes en agua en condiciones reales de operación.

Recordando, los valores de las concentraciones de iones calcio, hierro y magnesio halladas en el agua son:

Tabla 11.0.3. Concentraciones de iones en el agua a ensayar.

Catión	Concentración [ppm]	Valor recomendado [ppm]	Remoción [ppm]
Calcio (Ca ²⁺)	4420	50-250	4375
Hierro (Fe ²⁺)	302	1-20	300
Magnesio (Mg ²⁺)	2188	10-100	2180

11.2.4.1.2 Determinación

Los cationes de Ca, Fe y Mg, pueden ser determinados volumétricamente, mediante el empleo de la sal disódica del Ácido Etilendiaminotetraacético (EDTA-Na₂.2H₂O) con la cual forman en solución alcalina, compuestos estables. El indicador usado para establecer el punto final es el Negro de Eriocromo T (NET), que es un ácido con 3 hidrógenos reemplazables, por lo que puede representarse como H₃In.

Según el pH de la solución, en ausencia de iones metálicos podrá estar como H₃In, H₂In⁻, HIn⁼ o In⁻³. Las tres últimas especies son rojo-vinoso, azul y anaranjado, respectivamente. Debido a que el objetivo de la experiencia es determinar la

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 236 de 310		

concentración de iones totales, la valoración se lleva a cabo hasta el punto final. La diferencia entre el valor inicial y el final, será la cantidad de iones que precipitaron debido al agregado de hidróxido de sodio y carbonato de sodio.

11.2.4.1.3 Interferencias

Debido a la concentración de iones presentes en el agua, la fuerza iónica podría afectar, de forma positiva o negativa, la precipitación deseada. Es por esto, que luego de lograr la concentración adecuada de iones, se realizará el agregado de Cloruro de sodio hasta alcanzar la conductividad que tendría el agua en condiciones operativas.

11.2.4.1.4 Aparatos y materiales

- Balanza analítica.
- Vidrios de reloj.
- Vasos de precipitado de 100 mL, 200 mL (2), 500 mL.
- Matraz de 200 mL (2), 500 mL.
- Agitador magnético.
- Conductímetro.
- Erlenmeyer (5).
- Buretas (2).
- Pipeta aforada de 10 mL.

11.2.4.1.5 Reactivos

- Cloruro de Calcio (CaCl_2).
- Cloruro de Magnesio Hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).
- Cloruro de Hierro (II) (FeCl_2).
- Carbonato de Sodio (Na_2CO_3).
- Cloruro de Sodio (NaCl).
- Hidróxido de Sodio (NaOH).
- Ácido Clorhídrico conc. (HCl al 36 % (p/p), densidad: 1,16 gr/ml).
- Alcohol Etílico.
- Cloruro de Amonio (NH_4Cl).
- Hidróxido de Amonio (NH_4OH concentrado 25 % (p/p), densidad: 0,91 gr/ml).
- Sal de EDTA- $\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
- NET (Negro de Eriocromo T) (indicador).

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 237 de 310	

11.2.4.1.6 Preparación de soluciones

- *Agua de ensayo*

Para lograr las concentraciones de los iones Calcio, Magnesio y Hierro, deseadas e indicadas en la tabla 1, se pesó: 12,27 g de Cloruro de Calcio (CaCl_2), 18,3016 g Cloruro de Magnesio Hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y 0,686 g de Cloruro de Hierro (II) (FeCl_2).

Todas las sales pesadas en sus correspondientes vidrios de reloj, se mezclaron en un vaso de precipitados de 500 mL y se disolvieron con aproximadamente 300 mL de agua destilada. Se llevó esta mezcla perfectamente homogénea a un matraz de 1000 mL y se procedió a su enrase con agua destilada.

- *Solución de Hidróxido de Sodio al 25% P/V*

Se prepararon 200 mL de esta solución pesando 50 g de la sal sólida, y enrasando en un matraz con agua destilada.

- *Solución de Carbonato de Sodio al 15% P/V*

Se prepararon 200 mL de esta solución pesando 30 g de la sal sólida, y enrasando en un matraz con agua destilada.

- *Solución Buffer pH: $10 \pm 0,1$*

Se disolvieron 16,9 gr de cloruro de amonio (NH_4Cl) en 143 ml de hidróxido de amonio (NH_4OH) concentrado (25 % P/P, densidad 0,91 gr/ml), llevando a un volumen final de 250 mL con agua desmineralizada.

- *Solución EDTA- $\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 0,075 M*

Se pesaron 27,9225 gr de EDTA- $\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (grado analítico) y disolvieron en agua desmineralizada, enrasando finalmente en un matraz de 1000 ml.

- *Solución Estándar de Calcio: 1 mg de CaCO_3 /ml de solución*

Se secaron a 105°C durante todo el día anterior a la experiencia aproximadamente 5 gr de CaCO_3 (droga patrón primario).

Luego, para preparar la solución, se pesó exactamente 1 gr en un vaso de precipitados de 250 mL y se agregaron 200 ml de agua desmineralizada. Luego se agregaron poco a

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 238 de 310		

poco HCl (1+1) con una pipeta Pasteur hasta disolver todo el sólido. Se hirvió la mezcla durante unos minutos para eliminar el CO₂.

Una vez enfriada la solución, se transfirió finalmente a un matraz de 1000 mL y se agregó agua desmineralizada hasta enrasar.

11.2.4.1.7 Procedimiento

- *Valoración de la solución de EDTA-Na₂.2H₂O (N_{EDTA})*

Se tomó una alícuota de 75 mL de la solución patrón de carbonato de calcio (CaCO₃) con una probeta (el volumen tomado de la alícuota corresponde a un volumen de gasto aproximado de solución de EDTA-Na₂.2H₂O de 10 mL, volumen medio de la bureta). Se transfirió a un erlenmeyer de 125 ml y se agregaron 2 mL de solución buffer y una punta de espátula del indicador NET.

Se procedió a titular con la solución de EDTA-Na₂.2H₂O hasta viraje del indicador del rojo vinoso al azul. El factor de la solución de se calculó con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{\text{masa (mg de CaCO}_3\text{)}}{\text{vol. gastado (ml de EDTA)}}$$

- *Determinación de la velocidad de reacción*

Para proceder a la experiencia del cálculo de la velocidad de reacción, en primer lugar, se midió la conductividad de la muestra de agua preparada, de modo que esta iguale las condiciones de fuerza iónica que una muestra real de agua de flowback (de la cual se tienen los datos de ensayo). Dado que la conductividad daba menor, se fue agregando poco a poco cloruro de sodio, hasta alcanzar la conductividad deseada (200000 μS/cm). Antes del agregado de cloruro de sodio, se apartaron 200 mL de la muestra original para evaluar luego la experiencia bajo condiciones de fuerza iónica inicial.

Una vez obtenida la muestra de agua en las condiciones de operación, se realizó una valoración con la solución de EDTA-Na₂.2H₂O, a fines de conocer exactamente la concentración de iones inicial tomando una alícuota de muestra de 10 mL.

Se procedió luego a iniciar la reacción y para ello se mezclaron 500 mL de la muestra de agua con 15 mL de la solución preparada de Hidróxido de Sodio al 25% P/V y 40 mL de la solución de Carbonato de Sodio al 15% P/V. Dicha mezcla se realizó con asistencia de un agitador magnético.

La *Figura 11.3*, fue tomada en el momento de la mezcla. Tal y como se puede apreciar, la aparición de precipitado fue inmediata.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 239 de 310	



Figura 11.3. Imagen tomada al instante de realizar la mezcla.

Posteriormente, se tomaron alícuotas de 10 mL del sobrenadante a distintos tiempos y se realizó la valoración con la solución de $\text{EDTA-Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, regulando la titulación a pH 10 con el buffer preparado y usando NET como indicador.

Todos los datos de volumen gastado de titulante frente al tiempo fueron recolectados para su cálculo y posterior análisis de resultados. En las *Figuras 4 y 5* se puede apreciar el procedimiento de titulación.

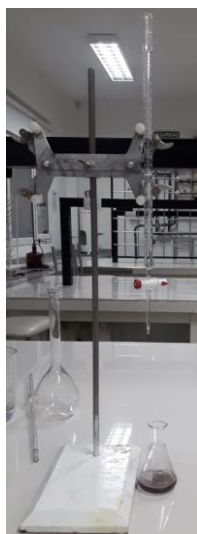


Figura 11.4. Equipo de titulación.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 240 de 310		



Figura 11.5. Viraje del indicador de rojo vinoso a azul.

Por otra parte, se muestra en la *Figura 11.6*, la solución final obtenida luego de ocurrida la reacción.



Figura 11.6. Solución final obtenida.

La experiencia se repitió variando la temperatura de la muestra, así como la fuerza iónica. Esta vez, tomando muestras de 100 mL.

Para evaluar el efecto de la temperatura una muestra fue llevada al refrigerador, hasta alcanzar una temperatura de 5°C y otra, se llevó a calentamiento hasta los 45°C.

Por otra parte, para evaluar el efecto de la fuerza iónica, se tomó una muestra del volumen apartado de la muestra inicial antes del agregado de cloruro de sodio.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 241 de 310	

11.2.4.1.8 Resultados

Tabla 11.4. Datos de la titulación.

Concentración EDTA, (C_{EDTA}) [M]	0,075
Factor de corrección EDTA, (f)*	0,98
Volumen de alícuotas (V_a) [mL]	10

*Factor de corrección de concentración de EDTA obtenido mediante la valoración con la solución patrón primaria de carbonato de calcio.

Tabla 11.5. Resultados de la titulación en condiciones normales de operación.

Tiempo [min]	Volumen Gastado EDTA [ml]	Concentración total [M]	$\Delta C/\Delta t$ [M/min]
0	27,17	0,200	0,020
2,5	20,28	0,149	0,021
5	13,55	0,100	0,020
7,5	6,58	0,048	0,019
8,5	4	0,029	0,018
10	0,5	0,004	
			Promedio de $\Delta C/\Delta t$ * [M/min]
			0,0196

* Dado que los cocientes entre las variaciones de concentración respecto al tiempo, dieron aproximadamente constantes, las mismas, pudieron ser promediadas, de manera que obtener la velocidad de reacción. Esto es idéntico a aplicar la ecuación de diseño de un reactor intermitente (Ecuación 4).

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 242 de 310	

Efecto de la temperatura

Tabla 11.6. Resultados de la titulación a 45°C.

Tiempo [min]	Volumen Gastado EDTA [ml]	Concentración total [M]	$\Delta C/\Delta t$ [M/min]
0	26,30	0,193	0,020
2,5	19,40	0,143	0,019
5	12,90	0,095	0,020
7,5	6,20	0,046	0,018
8,5	3,80	0,028	0,016
10	0,47	0,003	
			Promedio de $\Delta C/\Delta t$ [M/min]
			0,01861

Tabla 11.7. Resultados de la titulación a 5°C.

Tiempo [min]	Volumen Gastado EDTA [ml]	Concentración total [M]	$\Delta C/\Delta t$ [M/min]
0	27,8	0,204	0,020
2,5	21,1	0,155	0,020
5	14,2	0,104	0,021
7,5	6,9	0,051	0,020
8,5	4,15	0,031	0,018
10	0,5	0,004	
			Promedio de $\Delta C/\Delta t$ [M/min]
			0,01990

Al evaluar los resultados obtenidos con la variación de la temperatura de operación, se puede observar que, al elevar la misma, el volumen gastado de EDTA resultó menor, lo que se traduce en una menor concentración de iones. Y, al contrario, al disminuir la temperatura, el volumen gastado de agente titulante fue mayor, por ende, la concentración de iones aumentó.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 243 de 310		

Sin embargo, estas variaciones de concentraciones, no resultaron significativas y en todos los casos se obtuvieron concentraciones finales de iones dentro de los límites permisibles. Un estudio más detallado realizado al respecto, demostró que los resultados obtenidos se deben a un efecto combinado del comportamiento respecto a la temperatura de las distintas sales insolubles, ya que mientras los hidróxidos de magnesio y hierro formados presentan un aumento de solubilidad respecto a la temperatura, el carbonato de calcio, exhibe un comportamiento contrario, es decir, su solubilidad disminuye con el aumento de la temperatura dado que se produce una liberación de dióxido de carbono, provocando un aumento de pH, lo cual desplaza la reacción de equilibrio hacia la formación de carbonato.

Un posible proceder ante esta situación, puede ser aumentar el volumen agregado de hidróxido de sodio durante los meses más calurosos del año para así, asegurarse que se alcanzan las condiciones de saturación y un volumen adicional de carbonato de sodio, durante los meses más fríos, donde se encuentra la mayor solubilidad del carbonato de calcio. De todas maneras, cualquier procedimiento que se realice será de acuerdo a los resultados de los análisis del agua antes y después del tratamiento.

Efecto de la fuerza iónica

Tabla 11.8. Resultados de la titulación al disminuir la fuerza iónica.

Tiempo [min]	Volumen Gastado EDTA [ml]	Concentración total [M]	$\Delta C/\Delta t$ [M/min]
0	24,4	0,179	0,018
2,5	18,2	0,134	0,016
5	12,8	0,094	0,020
7,5	5,9	0,043	0,017
8,5	3,6	0,026	0,016
10	0,4	0,003	
			Promedio de $\Delta C/\Delta t$ [M/min]
			0,01740

La variación de los resultados obtenidos respecto a la fuerza iónica resultó algo más notoria que el efecto provocado por la temperatura. Se puede observar que los volúmenes y, por ende, la concentración de los iones en solución, resultaron ser mayores para la muestra de agua con mayor conductividad que para la solución inicial

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 244 de 310		

sin el agregado de cloruro de sodio. Esto se debe a que la solubilidad de las sales se ve fuertemente afectada por la fuerza iónica del medio, es decir, por la concentración de otros iones presentes en la muestra, lo que se conoce como efecto salino. Lo que sucede es que el aumento de la fuerza iónica hace disminuir los coeficientes de actividad y con ello, la concentración de las especies libres, por lo que, aumenta el valor de la constante de solubilidad condicionada, y con ella, la solubilidad.

11.2.5 Diseño del reactor

11.2.5.1 Consideraciones generales

El dimensionamiento del reactor se hace teniendo en cuenta la velocidad de reacción obtenida, y el diseño de acuerdo a estas dimensiones se realiza en base a la norma API 650, ya que se trata de un tanque cilíndrico de techo fijo agitado que cumple con los requisitos para que sea aplicable dicha norma.

11.2.5.2 Dimensionamiento

El volumen del reactor se calcula aplicando las ecuaciones de diseño de un CSTR. Usando como dato los valores especificados en la *Tabla 11.9*.

Tabla 11.9. Datos de diseño del reactor.

Velocidad de reacción, (r). [M/min]	0,0195
Flujo volumétrico, (V). [m ³ /min]	4,167
Concentración inicial de iones, (C_0). [M]	0,2
Concentración final de iones, (C_f). [M]	0,0015

De esta manera, se obtiene un volumen de reactor de aproximadamente 50 m³.

De acuerdo a las normas API 650, para un tanque de volumen 51m³, que es el valor más cercano al calculado, las dimensiones serán:

- Diámetro: 3 m.
- Altura: 7,2 m.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 245 de 310		

11.2.5.3 Características constructivas

11.2.5.3.1 Material de construcción y revestimiento

El recipiente del reactor será construido íntegramente con chapas de acero al carbono (ASTM A 516 Grado 70) de 6,4 mm de espesor mínimo. El interior del mismo debe revestirse con pintura epoxi poliamídica, apropiada para superficies metálicas sumergidas en agua salobre. Dicho revestimiento debe poseer un espesor mínimo de 500 μm , y para ello las superficies deben ser arenadas a metal blanco.

11.2.5.3.2 Fondo del recipiente

Las virolas que constituyen el fondo del tanque reactor, deben disponerse de manera tal que el mismo tenga una forma cónica para permitir el fácil purgado de los sólidos que puedan sedimentar y acumularse. Para la operación de purgado, se proveerá de una válvula con controlador automático que actúa cuando la altura de sólidos alcanza aproximadamente 1/3 parte de la altura total del tanque.

11.2.5.3.3 Agitador interno

El agitador interno del reactor será de tipo hélice, el cual se caracteriza por poseer un flujo axial, trabajar a altas velocidades y ser utilizado para líquidos de baja viscosidad. Las hélices tienen una velocidad de giro de entre 400 y 800 rpm y una velocidad tangencial entre 3- 15 m/s.

11.2.6 Consumo de reactivos

Para determinar la cantidad necesaria de cada reactivo, se deben conocer las concentraciones de los iones en el agua de retorno como así también su concentración permitida para el agua de fractura, para de esta manera, calcular mediante diferencia, la cantidad que debe ser removida. Este cálculo ya fue mostrado con anterioridad, y se observa en la *Tabla 11.3*.

11.2.6.1 Carbonato de Sodio

La remoción del ion calcio se lleva a cabo mediante reacción con la sal de carbonato de sodio en una relación 1:1. La cantidad a remover de dicho ion es de 4375 ppm, por lo cual se calcula fácilmente la concentración que se requiere de reactivo.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 246 de 310

Esta solución se obtendrá a partir de una solución saturada de dicha sal. El dato de solubilidad del carbonato de sodio es de 30,7 g de solución. Por lo tanto, para el volumen diario de 5000 m³ de agua a tratar, se precisa de un volumen de 150 m³.

11.2.6.2 Hidróxido de Sodio

El volumen que se precisa de la solución de Hidróxido de Sodio al 50% P/P, está dada por la suma de lo requerido para remover tanto el ion Magnesio como el Hierro. Para realizar dichos cálculos, se procederá de manera semejante a lo estudiado para la remoción del ion calcio. La única diferencia se encuentra en la estequiometría de las reacciones, que para estos casos es 2:1, lo que significa que, por cada mol de ion a remover, se precisan de dos moles de base. Las concentraciones de magnesio y hierro que se requieren eliminar, son 2180 ppm y 300 ppm respectivamente, por lo que el volumen diario de solución de Hidróxido de Sodio resulta ser de aproximadamente 50 m³.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 247 de 310

11.3 SECADOR

11.3.1 Descripción

El desecado o secado de sólidos se refiere generalmente a la separación de un líquido de un sólido, por evaporación. El secado de materiales pesados granulares, es una operación compleja que involucra transferencia simultánea de masa y calor.

Los tres factores más importantes a tener en cuenta en el diseño de un secador son:

- Capacidad para cumplir con las especificaciones del producto final
- Capacidad para manejar materiales y
- La seguridad de equipos y de personal.

11.3.2 Clasificación


11.3.2.1 Clasificación según la disposición del material para secado

El material para el secado puede estar estático, móvil, fluido o diluido.

- Estático: éste es un lecho denso de sólidos en el cual cada partícula descansa sobre otras, debido a la densidad de la masa de la fase sólida. Es decir, no existe movimiento relativo entre las partículas sólidas.
- Móvil: este es un tipo de lecho de sólidos ligeramente restringido en el cual las partículas están separadas apenas lo suficiente para fluir o deslizarse unas sobre otras. Por lo común el flujo es descendente por acción de la fuerza de gravedad; pero también se puede registrar un movimiento ascendente debido a la elevación mecánica o a la agitación, generadas dentro del equipo de proceso.
- Fluidizado: las partículas sólidas se sostienen por medio de fuerzas de arrastre provocadas por la fase gaseosa que pasa por los intersticios de las partículas, con una velocidad crítica dada.
- Diluido: ésta es una condición de expansión total en la cual las partículas sólidas están tan separadas entre sí que prácticamente no ejercen ninguna influencia unas sobre otras.

11.3.2.2 Clasificación según el tipo de contacto

Los secaderos que exponen los sólidos a un gas caliente se llaman adiabáticos o secaderos directos; aquellos en los que el calor es transmitido desde un medio externo reciben el nombre de no adiabáticos o secaderos indirectos. Los secaderos calentados por energía radiante, dieléctrica o de microondas, también son no adiabáticos.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 248 de 310

11.3.2.3 Clasificación según el método de operación

Los métodos y procesos de secado se dividen en procesos de lotes, cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo; o continuos, si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo.

11.3.3 Factores que intervienen en el proceso de secado

11.3.3.1 Temperatura del aire


La temperatura desempeña un papel de suma importancia en los diferentes procesos de secado. Así podemos decir que, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. En la práctica del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter al proceso.

11.3.3.2 Humedad relativa del aire

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. A medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa. Cuando el aire contiene su máxima capacidad, podemos decir que se trata de un aire completamente saturado y esto significa que es incapaz de absorber más humedad, por el contrario, un aire no saturado tiene la posibilidad de absorber una cantidad determinada de humedad hasta lograr su saturación. Este parámetro cobra importancia y notoriedad en el método de secado directo, donde se produce transferencia de masa entre este y el material a secar.

11.3.3.3 Velocidad del aire

La velocidad del aire dentro del secador tiene principales funciones las que son, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y, en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material. La capa límite que existe entre el material a secar y el aire tiene un papel muy importante en el secado. Cuanto menor sea el espesor de esta capa límite, más rápida será la remoción de humedad. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire. Durante las primeras etapas del

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 249 de 310

secado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. Cuando mayor sea la velocidad, mayor será la tasa de evaporación y será menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular. Las ventajas de velocidades altas de aire, disminuyen en cuanto mayor es el espesor del material, menor el contenido de humedad inicial y la temperatura de bulbo seco inicial. En la práctica, la economía del proceso determina la velocidad del aire. Se utilizan velocidades mayores a 3 m/s sólo en casos excepcionales (material muy húmedo), pero en general, la velocidad se considera entre de 2 m/s a 3 m/s. En algunos casos, es recomendable utilizar velocidades de secado altas al inicio del proceso de secado, pero a medida que disminuye la humedad se sugiere disminuir la velocidad. Lo anterior es posible si se cuenta con ventiladores de velocidad variable.

11.3.4 Secador Rotatorio

Son muchos los tipos de secadores que se pueden encontrar en la industria, atendiendo a una amplia variedad de aplicaciones. Sin embargo, nos centraremos en el tipo de secador rotatorio, que es el utilizado para el secado de las sales obtenidas como subproducto.

Los secadores rotatorios pertenecen al grupo de secadores directos continuos, aunque en algunos casos, el calentamiento es por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro. Dichos equipos consisten en estructuras cilíndricas que giran por lo general sobre su eje, ligeramente inclinadas hacia la salida y sostenidas por dos anillos de rodadura que funcionan sobre mecanismos de rodillos.

Los sólidos granulares húmedos se alimentan por la parte superior, y se desplazan por el cilindro a medida que éste gira. El calentamiento se lleva a cabo por contacto indirecto con gases calientes, el flujo de aire puede ser tanto en paralelo como a contracorriente, el material húmedo está en continuo movimiento gracias a la rotación del secador. El uso de este equipo constituye uno de los procesos más utilizados para el secado de una amplia gama de materiales a nivel industrial, dado que es un método rápido y de bajo costo unitario cuando se trata de grandes cantidades de material y aplicable para manejar productos de considerable variación en tamaño y composición.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 250 de 310		

11.3.4.1 Tipos de Secadores Rotatorios

La clasificación más comúnmente encontrada para diferenciar los secadores rotatorios, es en base al tipo de contacto entre el medio se secado y el material a secar.

- **Calor Directo:** Los secadores de calor directo son más aplicables a materiales en formas granulares, comprimidas o de extrusión, que no son sensibles al calor y tampoco son afectados por el contacto directo con gases de combustión. Los materiales pueden ser secados en paralelo o contra la corriente del gas caliente. Los secadores de flujo paralelo son ideales para el secado rápido, eficiente y a baja temperatura de materiales que son más sensibles a las altas temperaturas, baja densidad, pegajosos y no adquieren fluidez fácilmente. La transferencia de calor se efectúa predominantemente por convección.
- **Calor Indirecto:** Los secadores de calor indirecto son más aplicables a materiales que son sensibles al calor y también son afectados por el contacto directo con gases de combustión. En este equipo, el material entra en contacto sólo con la superficie caliente del cilindro, que es calentada externamente con gases de combustión. El material húmedo se introduce en el cilindro rotatorio, insertado en una cámara estacionaria. Los gases de combustión calientes pasan a través del espacio anular. La transferencia de calor se realiza principalmente por conducción.
- **Inyección de Vapor en Tubos:** Los secadores de inyección de vapor en tubos, son más aplicables a materiales sensibles al calor y a contaminación con gases. Una de las aplicaciones comunes está en los productos alimenticios y agrícolas. Existen tubos calentados con vapor y organizados coaxialmente en filas a lo largo del secador. La transferencia de calor se lleva a cabo esencialmente por conducción.

11.3.4.2 Partes del Secador Rotatorio

- **Cilindro:** Es la parte principal del secador en donde se introduce el material húmedo, el mismo que es inicialmente distribuido de manera uniforme por la placa de mezclado al interior del cilindro, y luego secados por aire caliente. En el interior del cilindro se colocan paletas giratorias dispuestas a lo largo de todo el secador.
- **Sistema de paletas:** Consiste en unas paletas giratorias elaboradas del mismo material del cilindro o sea acero inoxidable las cuales tienen gran consistencia ya que están bien aseguradas a un rodamiento donde se deposita el eje. El objetivo de este

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 251 de 310

sistema es mantener en movimiento el material para que el secado se realice satisfactoriamente entonces éstas ayudan al transporte del material; así como a la homogenización de la mezcla esparciendo el material en la corriente gaseosa, mejorando la transferencia de calor y garantizando que el proceso se vea mejorado en un 100%.

- *Motor Eléctrico:* Es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica. A este motor se acopla un sistema de poleas las cuales también se hallan conectadas al cilindro, su utilidad se enfoca en la transmisión de movimiento giratorio entre dos ejes distantes; permitiendo aumentar, disminuir o mantener la velocidad de giro.
- *Sistema de calentamiento:* Cuando no existe peligro de que la materia prima se llegara a contaminar por gases de combustión existen métodos de calentamiento mediante quemadores: quemadores de petróleo, quemadores de gas, quemadores de combustible sólidos.
 - Quemadores de petróleo: Para la mayoría de las aplicaciones, es fundamental conseguir una combustión completa, pues una pequeña traza de hollín es suficiente para colorear a un material claro. Para lograr esto son precisas tres condiciones: a) La atomización del combustible debe ser muy buena, de manera que sea pequeño el residuo no volátil de las gotitas b) Es necesario obtener una llama turbulenta con un rápido mezclado para quemar todas las partículas secundarias de carbón que se forman en la llama por reacción térmica antes que estas alcancen un gran tamaño. c) Los gases de la llama no deben enfriarse por dilución hasta que no se haya completado la combustión Es necesario disponer de tiro forzado para lograr el cumplimiento de la condición (b) y en muchas instalaciones es adecuado un quemador del tipo de atomización a baja presión. En estos quemadores todo el aire de combustión o al menos una alta proporción de él, es suministrado al quemador a una presión de unos 75 mbar y también sirve para atomizar al combustible.
 - Quemadores de gas: En estos quemadores la llama es muy estable, pudiéndose regular la relación aire/gas, manteniendo el máximo caudal de aire y pudiéndose alcanzar una variación en el caudal del gas, si se regula en la misma proporción al caudal del aire.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 252 de 310

- Uso de combustibles sólidos: Es posible utilizar combustibles sólidos en los secadores con fuego directo si no hay objeciones a la contaminación del producto por las partículas de ceniza. Pueden usarse alimentadores automáticos para obtener una operación continua y facilitar el control de la temperatura. En los secadores de gran tamaño puede utilizarse carbón pulverizado. De la misma forma que los quemadores de petróleo, debe usarse una cámara de combustión completa antes de reunir los gases calientes con el aire de dilución
- Ventilador: es una máquina de fluido concebida para producir una corriente de aire, éste desplaza el gas de un lugar a otro.

A continuación, en la *Figura 11.7* se muestra un secador rotatorio típico, con las principales partes detalladas.

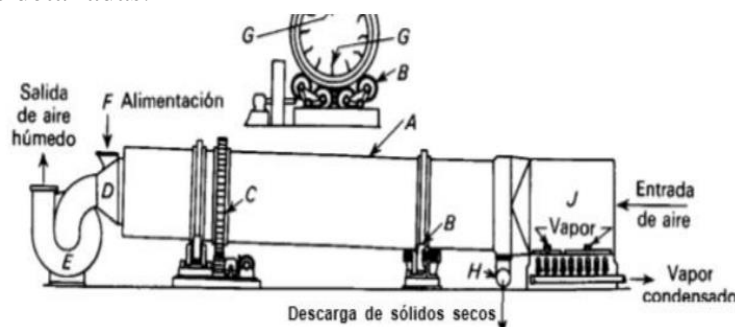


Figura 11.7. Esquema de un secador rotatorio típico.

11.4 BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, A y Aldaz, M.(2014). *Diseño y Construcción de un secador Rotatorio*. Quito, Ecuador.
- Castillo, U. (2013). *Diseño y cálculo de un Agitador de Fluidos*. Universidad de Bio. Facultad de Ingeniería Mecánica. Chile.
- Espinoza, B (2015). *Ingeniería de una Secador rotatorio didáctico para el laboratorio de Operaciones Unitarias*. Guayaquil, Ecuador.
- Fogler, S. (2008). *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*. Cuarta Edición. Ed. Pearson. México.
- Fuentes, A.(2009). *Estudio de la solubilidad de Carbonatos y Sulfatos con Implicaciones en la Formación de Incrustaciones*. México.
- Jaimes, C y Pico, M. (2009). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras*. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería. Bucaramanga.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 253 de 310

- Lopez, I. (2009). *Introducción al Diseño de reactores*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario.
- Schlunder, E. *Drying of Solid Materials*. Institut für Thermische Verfahrenstechnik, University of Karlsruhe, Karlsruhe, Federal Republic of Germany.
- Sanchez, *Diseño y Construcción de un Secador Rotatorio*. 2014. Ecuador

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 254 de 310		

12 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

12.1 TIPO DE ESTUDIO

De acuerdo al Decreto 2656/99 de la provincia del Neuquén, al proyecto final le corresponde un Estudio de Impacto Ambiental dado que se supone que el mismo presenta un impacto medio/alto. El Estudio de Impacto Ambiental se define como el documento técnico, de carácter interdisciplinario, que se incluye en el procedimiento administrativo general de la EIA, que está destinado a predecir, identificar, valorar, prevenir y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno. En el decreto nombrado, anexo I, determina al Estudio de Impacto Ambiental como el documento requerido para las actividades enumeradas en el Anexo V del Decreto y formulado de acuerdo a las pautas brindadas en el Anexo III del Decreto, que describe un proyecto, el medio donde se desarrolla, el impacto ambiental que producirá y las medidas de protección del ambiente que se proponen adoptar.


12.2 PROYECTO

12.2.1 Recursos demandados. Tipos y cuantificación

Considerando las tres etapas: Construcción, operación y abandono

Se presenta una caracterización de las materias primas, insumos y suministros, bajo condiciones normales de operación.

MATERIAS PRIMAS	ETAPA DEL PROYECTO	CANTIDAD ESTIMADA	UNIDAD DE MEDIDA	TRANSPORTE	FORMA DE ALMACENAMIENTO
Agua a tratar	Operación	5000	m ³ /día	Cañería	Tanque

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 255 de 310		

INSUMOS	ETAPA DEL PROYECTO	CONSUMO ESTIMADO	UNIDAD DE MEDIDA	COMENTARIOS
Mano de Obra	Construcción	20	Personas	Montaje de equipos y cañerías.
Gas Natural	Operación	350	m ³ /h	Alimentación a la celda de flotación, secador y otros usos dentro de la planta.
Energía Eléctrica	Operación	N/D	-	Usos varios.
Hidróxido de Sodio	Operación	75	tn/día	Alimentación al tanque reactor.
Carbonato de Sodio	Operación	150	tn/día	Alimentación al tanque reactor
Agua Potable	Operación	225	litros/día	Para consumo e higiene.
Mano de Obra	Operación	5	personas	Operación de la planta, sala de control y laboratorio.
Mano de Obra	Abandono	20	personas	Para el desarmado de equipos y cañerías.

12.2.2 Efluentes del proyecto

Considerando las tres etapas: Construcción, operación y abandono

12.2.2.1 Emisiones

COMPUESTO	ETAPA DEL PROYECTO	EMISIÓN ESTIMADA	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIONES
Ruido	Construcción y Operación	50	dB	-
Vapor de agua	Operación	50	m ³ /día	Proveniente del secadero.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERÍA QUÍMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 256 de 310		

12.2.2.2 Vertidos

IDENTIFICACIÓN DE LA FUENTE DE DESCARGA	ETAPA DEL PROYECTO	VOLUMEN ESTIMADO DE DESCARGA	UNIDAD DE MEDIDA	DESTINO DEL EFLUENTE	TIPO DE MANEJO DEL EFLUENTE
Cloacales	Construcción	4	m ³ /día	Red Cloacal	-
Cloacales	Operación	1	m ³ /día	Red Cloacal	-
Cloacales	Abandono	4	m ³ /día	Red Cloacal	-

12.2.2.3 Residuos

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS	ETAPA DEL PROYECTO	CANTIDAD ESTIMADA	UNIDAD DE MEDIDA	DESTINO DE LOS RESIDUOS GENERADOS
Residuos de construcción	Construcción	N/D	-	Basurero municipal.
Residuos sólidos urbanos	Construcción y operación.	N/D	-	Basurero municipal.
Sólidos arcillosos y arenosos	Operación	50	tn/día	Tanque API de tratamiento.
Sales de Calcio, Hierro y Magnesio	Operación	85	tn/día	Disposición final para venta.

12.3 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS

12.3.1 Identificación de impactos

A continuación, se identifican los impactos a partir del análisis de la interacción entre las acciones del proyecto y los factores y subfactores del entorno en las tres fases.

12.3.1.1 Árbol de acciones

En el árbol de acciones se describen todas las acciones causadas por la ejecución del proyecto en sus tres fases.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 257 de 310

ÁRBOL DE ACCIONES			
TRATAMIENTO DE AGUA DE RETORO	Fase	Elemento	Acciones
	Construcción	Movimiento de suelos	Desmonte y cercado.
			Tránsito de vehículos y maquinaria.
			Emisión de polvos.
			Emisión de ruidos y vibraciones.
			Relleno, compactación y nivelación
			Emisión de polvo y gases
			Demanda de mano de obra.
		Obrador	Ensamblaje de la planta y oficina.
			Demanda de mano de obra.
			Emisión de ruidos.
			Circulación de vehículos.
			Generación de residuos sólidos.
			Contratación de servicios auxiliares.
		Obra civil y montaje	Tránsito de vehículos.
			Excavaciones.
			Emisión de ruidos y vibraciones.
			Tránsito de vehículos.
			Operaciones de carga y descarga.
	Demanda de mano de obra.		
	Generación de residuos.		
	Forestación.		
	Operación	Planta	Almacenamiento de la materia prima.
			Almacenamiento de productos.
			Almacenamiento de insumos.
			Emisión de vapor de agua.
			Vertido de efluentes.
			Producción de residuos industriales.
Emisión de ruidos y vibraciones.			
Operaciones de carga y descarga.			
Demanda de mano de obra			
Instalaciones auxiliares		Generación de residuos sólidos urbanos.	
		Producción de efluentes cloacales.	
	Generación de residuos de desmantelamiento		
Abandono	Planta	Tránsito de vehículos y maquinaria.	
		Despidos.	

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 258 de 310	

12.3.1.2 Factores afectados

En la tabla siguiente se marcan los factores que se consideran serán afectados en todas las fases y una breve descripción del tipo de afectación.

Factores a considerar	Fases			Descripción somera de la afectación
	Construcción	Operación	Abandono	
Aire	x	x	x	Afectación de la calidad por ruidos y vibraciones, desprendimiento de polvo y emisión de vapor de agua.
Suelo	x	x	x	Afectación de la calidad por movimientos o vertido de efluentes cloacales.
Hidrología Superficial	x	x	x	Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales y disminución del consumo de agua para fractura.
Flora	x			Desmante para la construcción.
Fauna	x			Alteración del hábitat de especies autóctonas.
Paisaje	x	x	x	Afectación del paisaje intrínseco.
Población	x	x	x	Aceptabilidad social del proyecto. Interacciones sociales. Estilos de vida. Despidos.
Recursos humanos	x	x	x	Demanda de mano de obra y despidos.
Economía	x	x	x	Generación de fuente de trabajo. Pago al superficiario por uso del terreno.
Infraestructura	x			Infraestructura para instalación de servicios.
Equipamientos	x	x	x	Transporte y comunicaciones.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 259 de 310		

12.3.1.3 Identificación de impactos

Las acciones que el proyecto puede generar sobre el medio son las causas que provocan los impactos, estas pueden ser agrupadas de dos formas:

- *Acciones operativas:* son aquellas que la actividad produce por el solo hecho de su concepción, construcción, operación y abandono.
- *Acciones accidentales o de contingencias:* son todo hecho o acción, de origen natural o humano, cuya ocurrencia involucra un *riesgo potencial*. Son aquellas que se producen como consecuencia de una *emergencia*, es decir lo que acontece cuando, de una circunstancia o combinación de circunstancias, surge un fenómeno inesperado de índole accidental, que debe ser controlado a fin de evitar daños, lo que se denomina Contingencia.

En la tabla siguiente se describen los impactos Operativos y por Contingencias en las tres fases que actúan sobre cada factor.

Fase: Construcción		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Aire	1	Afectación de la calidad por desprendimiento de polvo y emisión de gases de combustión de motores.
	2	Afectación de la calidad por generación de ruidos y vibraciones.
Suelo	3	Afectación de la calidad por movimiento de suelos.
	4	Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales.
Flora	5	Eliminación de la cubierta vegetal por desmonte.
Fauna	6	Alteración del hábitat de especies autóctonas.
Paisaje	7	Afectación del paisaje intrínseco.
Recursos humanos	8	Despidos al finalizar la construcción.
Factores Afectados	Nº	Por Contingencias
Suelo	1	Riesgo por incendio.
Flora		
Fauna		
Suelo	2	Riesgo por derrame.
Flora		
Fauna		
Recursos humanos	3	Accidente laboral.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 260 de 310		

Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Recursos humanos	1	Generación de empleo.
Economía	2	Aumento de la demanda de servicios.
	3	Indemnizaciones y sueldos.

Fase: Operación		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Aire	1	Afectación de la calidad por emisión de polvo por transporte y carga y descarga de sólidos.
	2	Afectación de la calidad por generación de ruidos y vibraciones.
Suelo	3	Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales.
Paisaje	4	Afectación del paisaje intrínseco.
Recursos humanos	5	Despidos.
Factores Afectados	Nº	Por Contingencias
Suelo		Riesgo por incendio.
Suelo	2	Riesgo por derrame.
Recursos humanos	3	Accidente laboral.
Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Suelo	1	Disminución de la contaminación por creación de pozos sumideros.
	2	Tratamiento del agua de inyección.
Hidrología Superficial	3	Disminución del uso de agua de río para fractura hidráulica.
Hidrología Subterránea	4	Disminución de la contaminación por creación de pozos sumideros.
Recursos humanos	5	Generación de empleo.
	6	Capacitación del personal.
	7	Aceptabilidad social del proyecto.
Economía	8	Aumento de la actividad económica.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 261 de 310

Fase: Abandono		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	N°	Operativos
Aire	1	Afectación de la calidad por desprendimiento de polvo y emisión de gases de combustión de motores.
	2	Afectación de la calidad por generación de ruidos y vibraciones.
Suelo	3	Generación de residuos de abandono.
	4	Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales.
Recursos humanos	5	Despidos.
Economía	6	Disminución de la actividad productiva.
Factores Afectados	N°	Por Contingencias
Suelo	1	Riesgo por incendio.
Suelo	2	Riesgo por derrame.
Recursos humanos	3	Accidente laboral.
Impactos Positivos		
Factores Afectados	N°	Operativos
Paisaje	1	Restablecimiento del paisaje.
Recursos humanos	2	Demanda de mano de obra para desarme.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 262 de 310		

12.3.2 Valoración de los impactos Operativos

La valoración se realiza considerando la *Importancia* del Impacto, es decir la categoría del efecto de una acción sobre un determinado factor afectado de acuerdo a lo estipulado por la Resolución 25/04 de la Secretaría de Energía de la Nación.

12.3.2.1 Cálculo de la Importancia

Para el cálculo de la Importancia se han tomado solamente los *impactos negativos por ser ellos los que gravitaran sobre la viabilidad ambiental del proyecto*. La expresión adoptada es la correspondiente a la metodología propuesta por Vicente Conesa Fernández – Vítora y adoptada por la Resolución 25/04.

$$\text{Importancia} = \pm [3 I + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC] \quad (1)$$

Dónde:

I = Intensidad

EX = Extensión

MO = Momento

PE = Persistencia

RV = Reversibilidad

SI = Sinergia

AC = Acumulación

EF = Efecto

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 263 de 310		

Crterios de valoración:

Intensidad	
Grado de perturbación que imponen las acciones del proyecto al valor ambiental asignado al factor.	
Extensión	
Puntual	Cuando la acción impactante produce una alteración muy localizada en el entorno considerado.
Parcial	Cuando la acción impactante produce una alteración apreciable en el entorno considerado.
Extenso	Cuando la acción impactante produce una alteración en una gran parte del entorno considerado.
Total	Cuando la acción impactante produce una alteración generalizada en el entorno considerado.
Momento	
Largo Plazo	> 5 años
Medio Plazo	1 – 5 años
Inmediato	< 1 año
Crítico	Circunstancia crítica
Persistencia	
Tiempo de permanencia del efecto desde su aparición hasta su posible desaparición.	
Fugaz	< 1 año
Temporal	1 –10 años
Permanente	> 10 años
Reversibilidad	
La capacidad que tiene el factor afectado de revertir el efecto por medios naturales.	
Corto Plazo	< 1 año
Medio Plazo	1 –10 años
Irreversible	> 10 años
Recuperabilidad	
La posibilidad de revertir el efecto por medio de la intervención humana.	
Corto Plazo	< 1 año
Medio Plazo	1 –10 años
Irreversible	> 10 años

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 264 de 310

Fase: Construcción											
Cálculo de la Importancia											
				Impactos Operativos							
ATRIBUTO	CARÁCTER	VALOR	PESO	1	2	3	4	5	6	7	8
SIGNO	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)									
INTENSIDAD	Baja	1									
	Media	2									
	Alta	4	3	2	2	1	1	1	1	1	2
	Muy alta	8									
	Total	12									
EXTENSIÓN	Puntual	1									
	Parcial	2									
	Extenso	4	2	2	2	1	2	1	1	1	2
	Total	8									
	Crítica	(+ 4)									
MOMENTO	Largo plazo	1									
	Medio plazo	2									
	Inmediato	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4
	Crítico	(+ 4)									
PERSISTENCIA	Fugaz	1									
	Temporal	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2
	Permanente	4									
REVERSIBILIDAD	Corto plazo	1									
	Medio plazo	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2
	Irreversible	4									
SINERGIA	Sin sinérgico	1									
	Sinérgico	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Muy sinérgico	4									
ACUMULACIÓN	Simple	1									
	Acumulativo	4	1	4	4	1	1	1	1	1	1
EFECTO	Indirecto	1									
	Directo	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4
PERIODICIDAD	Irregular o periódico	1									
	Periódico	2	1	4	4	1	2	1	1	1	1
	Continuo	4									
RECUPERABILIDAD	Recuperación inmediata	1									
	Recuperable medio plazo	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mitigable	4									
	Irrecuperable	8									
IMPORTANCIA				33	31	22	25	22	22	22	27

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERÍA QUÍMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 265 de 310

Fase: Operación								
Cálculo de la Importancia								
				Impactos				
				Operativos				
ATRIBUTO	CARÁCTER	VALOR	PESO	1	2	3	4	5
SIGNO	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)						
INTENSIDAD	Baja	1	3	2	2	1	1	2
	Media	2						
	Alta	4						
	Muy alta	8						
	Total	12						
EXTENSIÓN	Puntual	1	2	2	2	2	1	2
	Parcial	2						
	Extenso	4						
	Total	8						
	Crítica	(+ 4)						
MOMENTO	Largo plazo	1	1	4	4	4	4	4
	Medio plazo	2						
	Inmediato	4						
	Crítico	(+ 4)						
PERSISTENCIA	Fugaz	1	1	2	1	2	2	2
	Temporal	2						
	Permanente	4						
REVERSIBILIDAD	Corto plazo	1	1	2	1	2	2	2
	Medio plazo	2						
	Irreversible	4						
SINERGIA	Sin sinergismo	1	1	1	1	1	1	1
	Sinérgico	2						
	Muy sinérgico	4						
ACUMULACIÓN	Simple	1	1	4	4	1	1	1
	Acumulativo	4						
EFECTO	Indirecto	1	1	4	4	4	4	4
	Directo	4						
PERIODICIDAD	Irregular o periódico	1	1	4	4	4	1	1
	Periódico	2						
	Continuo	4						
RECUPERABILIDAD	Recuperación inmediata	1	1	2	2	2	2	2
	Recuperable medio plazo	2						
	Mitigable	4						
	Irrecuperable	8						
IMPORTANCIA				33	31	27	22	27

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 266 de 310

Fase: Abandono									
Cálculo de la Importancia									
				Impactos					
				Operativos					
ATRIBUTO	CARÁCTER	VALOR	PESO	1	2	3	4	5	6
SIGNO	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)							
INTENSIDAD	Baja	1	3						
	Media	2							
	Alta	4		2	2	2	1	2	1
	Muy alta	8							
	Total	12							
EXTENSIÓN	Puntual	1	2						
	Parcial	2							
	Extenso	4		2	2	1	2	2	2
	Total	8							
	Crítica	(+ 4)							
MOMENTO	Largo plazo	1	1						
	Medio plazo	2		4	4	4	4	4	4
	Inmediato	4							
	Crítico	(+ 4)							
PERSISTENCIA	Fugaz	1	1						
	Temporal	2		2	1	1	2	2	2
	Permanente	4							
REVERSIBILIDAD	Corto plazo	1	1						
	Medio plazo	2		2	1	2	2	2	2
	Irreversible	4							
SINERGIA	Sin sinergismo	1	1						
	Sinérgico	2		1	1	1	1	1	1
	Muy sinérgico	4							
ACUMULACIÓN	Simple	1	1						
	Acumulativo	4		4	4	1	1	1	1
EFECTO	Indirecto	1	1						
	Directo	4		4	4	4	4	4	4
PERIODICIDAD	Irregular o periódico	1	1						
	Periódico	2		4	4	1	2	1	1
	Continuo	4							
RECUPERABILIDAD	Recuperación inmediata	1	1						
	Recuperable medio plazo	2		2	2	2	2	2	2
	Mitigable	4							
	Irrecuperable	8							
IMPORTANCIA				33	31	24	25	27	24

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 267 de 310		

12.3.3 Impactos por Contingencias

Al considerar las acciones por contingencias estas se evaluarán a través de la *Estimación del Riesgo*.

12.3.3.1 Estimación de los riesgos

La *Estimación del Riesgo*, por causa de los impactos por contingencias se evalúa de la siguiente manera:

$$\text{Estimación de Riesgo (ER)} = \text{Amenaza (A)} \times \text{Vulnerabilidad (V)}$$

12.3.3.1.1 Amenaza (A)

$$\text{Amenaza (A)} = \text{Control (C)} + \text{Ocurrencia (O)}$$

Control: Se obtiene a partir de las consideraciones expresadas en la tabla

Control	Valor
No controlado	5
Parcialmente controlado	3
Controlado	1

No controlado: Cuando no existen:

- Legislación nacional y/o provincial y/o municipal
- Reglamentación nacional y/o provincial y/o municipal
- Procedimientos
- Instrucciones técnicas
- Planes de contingencia
- Protección o barreras físicas
- Monitoreos
- Programas de mantenimiento

Que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento.

Parcialmente controlado: Cuando existen:

- Legislación nacional y/o provincial y/o municipal
- Reglamentación nacional y/o provincial y/o municipal
- Procedimientos
- Instrucciones técnicas
- Planes de contingencia

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 268 de 310		

- Protección o barreras físicas
- Monitoreos
- Programas de mantenimiento

Que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento, pero no son suficientes para evitar que se produzca el impacto ambiental.

Aspecto controlado: Cuando existen:

- Legislación nacional y/o provincial y/o municipal
- Reglamentación nacional y/o provincial y/o municipal
- Procedimientos
- Instrucciones técnicas
- Planes de contingencia
- Protección o barreras físicas
- Monitoreos
- Programas de mantenimiento

Que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento y las mismas son efectivas para un control total del impacto medioambiental.

Ocurrencia: Se estima, considerando el periodo de tiempo de duración de la operación. De acuerdo a la ocurrencia se le asigna los valores descriptos en la Tabla.

Ocurrencia	Valor
Muy Frecuente	4
Frecuente	3
Poco Frecuente	2
Ocasional	1


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 269 de 310

12.3.3.1.2 Vulnerabilidad (V)

Vulnerabilidad (V) = Factor afectado (Fr)+ Magnitud (M)

Factor afectado: El valor se obtiene de acuerdo a las características:

Factor afectado	Valor
<ul style="list-style-type: none"> • Aire: <ul style="list-style-type: none"> - Calidad del aire • Agua: <ul style="list-style-type: none"> - Superficial - Recarga de acuíferos - Cauces aluvionales - Napa de agua dulce • Procesos • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - Con actividades agrícolas/ganaderas de magnitud • Vegetación: <ul style="list-style-type: none"> - Especies vegetales protegidas y/o singulares • Fauna: <ul style="list-style-type: none"> - Especies protegidas - Puntos de paso o rutas migratorias • Ecosistemas especiales • Socioeconómico: <ul style="list-style-type: none"> - Población: - Recursos Humanos • Infraestructura y núcleos: <ul style="list-style-type: none"> - Asentamientos urbanos 	10
<ul style="list-style-type: none"> • Paisaje • Áreas protegidas • Patrimonio cultural 	8
<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - Con actividades ganaderas y/o agrícolas de escasa magnitud - Recreativo 	7
<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - No comprendidos en los puntos anteriores • Vegetación: <ul style="list-style-type: none"> - No comprendidos en los puntos anteriores • Fauna: <ul style="list-style-type: none"> - No comprendidos en los puntos anteriores • Infraestructura 	6
<ul style="list-style-type: none"> • Agua: <ul style="list-style-type: none"> - Napa con alto contenido salino. • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - Sin actividades agrícolas / ganaderas - Extractivo 	3
<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - Ocupado con instalaciones. 	1

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 270 de 310	

Magnitud: En referencia a la extensión del daño sobre el factor afectado.

Magnitud	Valor
Muy Alta	10
Alta	7
Media	5
Baja	3
Despreciable	1

En las Tabla se desarrolla el cálculo de la estimación de los riesgos.

Estimación de los Riesgos									
Fases	Impactos por Contingencias	Factores Afectados	Amenaza		Suma	Vulnerabilidad		Suma	Estimación del Riesgo
			Control	Ocurrencia		Factor afectado	Magnitud		
Construcción	Riesgo por incendio.	Suelo	3	1	4	6	7	13	52
		Flora							
		Fauna							
	Riesgo por derrame.	Suelo	3	1	4	6	10	16	64
		Flora							
		Fauna							
Accidente laboral.	Recursos humanos	3	1	4	10	10	20	80	
Operación	Riesgo por incendio.	Suelo	3	1	4	1	7	8	32
	Riesgo por derrame.	Suelo	3	1	4	1	10	11	44
	Accidente laboral.	Recursos humanos	3	1	4	10	10	20	80
Abandono	Riesgo por incendio.	Suelo	3	1	4	1	7	8	32
	Riesgo por derrame.	Suelo	3	1	4	1	10	11	44
	Accidente laboral.	Recursos humanos	3	1	4	10	10	20	80

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 271 de 310		

12.4 DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

12.4.1 Impactos Operativos

Para efectuar el enjuiciamiento de los impactos de acuerdo a su valoración, se toman la escala dada por la Resolución 25/04


JERARQUIA	VALOR
Bajo	0 - 25
Moderado	25 - 50
Critico	> 50

La clasificación se define de la siguiente manera:

Bajo: de rápida recuperación sin medidas correctoras.

Moderado: la recuperación puede tardar de cierto a bastante tiempo, no necesitando medidas correctoras, o en el peor de los casos ser mitigable necesitando medidas correctoras simples.

Critico: la recuperación requiere bastante tiempo y como mínimo requiere medidas correctoras más complejas, puede superar el umbral tolerable y en este caso no es recuperable independientemente de las medidas correctoras.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 272 de 310	

De los impactos tratados y luego valorados resulta el enjuiciamiento detallado en la tabla.

Fase	Impactos Operativos				
	Factores Afectados	Negativos	Signo	Importancia	Categoría del Impacto
Construcción	Aire	Afectación de la calidad por desprendimiento de polvo y emisión de gases de combustión de motores.	-	33	Moderado
		Afectación de la calidad por generación de ruidos y vibraciones.	-	31	Moderado
	Suelo	Afectación de la calidad por movimiento de suelos.	-	22	Bajo
		Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales.	-	25	Moderado
	Flora	Eliminación de la cubierta vegetal por desmonte.	-	22	Bajo
	Fauna	Alteración del hábitat de especies autóctonas.	-	22	Bajo
	Paisaje	Afectación del paisaje intrínseco.	-	22	Bajo
	Recursos Humanos	Despidos al finalizar la construcción.	-	27	Moderado
Operación	Aire	Afectación de la calidad por emisión de polvo por transporte y carga y descarga de sólidos.	-	33	Moderado
		Afectación de la calidad por generación de ruidos y vibraciones.	-	31	Moderado
	Suelo	Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales.	-	27	Moderado
	Paisaje	Afectación del paisaje intrínseco.	-	22	Bajo
	Recursos Humanos	Despidos.	-	27	Moderado
Abandono	Aire	Afectación de la calidad por desprendimiento de polvo y emisión de gases de combustión de motores.	-	33	Moderado
		Afectación de la calidad por generación de ruidos y vibraciones.	-	31	Moderado
	Suelo	Generación de residuos de abandono.	-	24	Bajo
		Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales.	-	25	Moderado
	Recursos Humanos	Despidos.	-	27	Moderado
	Economía	Disminución de la actividad productiva.	-	24	Bajo

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 273 de 310		

12.4.2 Impactos por Contingencias

Estimación del Riesgo

De acuerdo a la categorización:

Riesgo Irrelevante: no requiere acción específica.

Riesgo Tolerable: no requiere medidas adicionales de control.

Riesgo Moderado: requiere medidas para reducir el riesgo.

Riesgo Importante: no se puede dar comienzo a la operación hasta reducir el riesgo.

Riesgo Intolerable: se debe interrumpir la ejecución del proyecto hasta que no se reveen las causas que originan el Riesgo.

En la Tabla se detallan los intervalos de encuadre de los valores estimados de los riesgos calculados.

Nivel de Riesgo	
Categoría	Intervalo (Estimación de Riesgo)
Irrelevante	- 30
Tolerable	31 - 70
Moderado	71 - 110
Importante	111 - 160
Intolerable	> 160

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 274 de 310		

De los impactos tratados y luego valorados resulta el enjuiciamiento detallado en la tabla.


Fases	Impactos por Contingencias	Factores Afectados	Estimación del Riesgo	Nivel de Riesgo
Construcción	Riesgo por incendio	Suelo	52	Tolerable
		Flora		
		Fauna		
	Riesgo por derrame.	Suelo	64	Tolerable
		Flora		
		Fauna		
Accidente laboral.	Recursos humanos	80	Moderado	
Operación	Riesgo por incendio.	Suelo	32	Tolerable
	Riesgo por derrame.	Suelo	44	Tolerable
	Accidente laboral.	Recursos humanos	80	Moderado
Abandono	Riesgo por incendio.	Suelo	32	Tolerable
	Riesgo por derrame.	Suelo	44	Tolerable
	Accidente laboral.	Recursos humanos	80	Moderado

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 275 de 310	

12.5 PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

En la tabla siguiente se presenta una síntesis del tipo y descripción de la/s medidas a introducir a los efectos de minimizar el impacto que ha resultado en el caso de los Operativos o por Contingencias igual o superior a Moderado.

SÍNTESIS DE MEDIDAS DE MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS						
IMPACTOS		TIPO DE MEDIDA		FASE	DESCRIPCIÓN	OBJETO
		Prev.	Cor			
Operativos	Afectación de la calidad del aire por emisión de polvo.	x		Construcción, operación y abandono.	Riego del suelo	Disminución de la emisión de polvo
	Afectación de la calidad del aire por generación de ruidos y vibraciones.			Construcción, operación y abandono.		
	Afectación de la calidad del suelo por vertido de efluentes cloacales.			Construcción, operación y abandono.		
	Despidos			Construcción, operación y abandono.	Preavisos pertinentes e indemnizaciones correspondientes.	Minimización del impacto
Contingencias	Accidente laboral	x		Construcción, operación y abandono.	Uso de elementos de protección personal y seguridad.	Minimización de los efectos del accidente

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 276 de 310		

13 TRATAMIENTO DE EFLUENTES

13.1 EFLUENTES

13.1.1 Identificación de Efluentes

Como primera medida para el Tratamiento de los efluentes, es necesario realizar una identificación de los mismos correspondientes a cada etapa. Dicha acción, ya fue realizada en el ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL mostrado en el Capítulo anterior del presente proyecto.

Sin embargo, en este Capítulo se realiza nuevamente una breve descripción respecto a los efluentes y residuos principales.

En la primera etapa del tratamiento se remueven los hidrocarburos, así como parte de los sólidos suspendidos. Sin embargo, los hidrocarburos no constituyen un residuo como tal, dado que los mismos son devueltos a la planta de tratamiento de crudo de donde provienen. Contrariamente, los sólidos removidos durante esta primera etapa y mayormente en la segunda, se identifican como residuos por lo que deben ser debidamente tratados.

Finalmente, los iones de Calcio, Hierro y Magnesio, principalmente, precipitan como Carbonatos e Hidróxidos, en una composición tal, que se asemeja a la materia prima utilizada para la fabricación del Clinker, compuesto que, junto a la cal, constituye los principales componentes del cemento. Es por ello, que las sales precipitadas, son separadas y tratadas para ser vendidas como subproducto.

13.1.2 Caracterización del Efluente

De la sección anterior, se puede extraer que como único residuo se identifican los sólidos provenientes de las dos primeras etapas del proceso de tratamiento agua.

Basándonos en análisis realizados a diversas aguas de retorno, se determinó que la concentración aproximada de sólidos en la misma es de aproximadamente 50000 ppm. Por otra parte, al realizar una caracterización de dichos sólidos, se puede afirmar que están constituidos principalmente por arenas, bentonita, arcillas y otros sólidos provenientes del pozo, y en menor proporción por supuesto, poseen agua y pequeñas cantidades de hidrocarburos que pueden aún permanecer. Es debido al contenido de hidrocarburos en los sólidos, que los mismos deben ser tratados, ya que de manera contraria no pueden ser desechados pues involucrarían una seria contaminación.

No es posible determinar la composición exacta de los residuos generados, ya que esto depende de diversos factores como el tipo de pozo y yacimiento, la formación involucrada en la fractura, la cantidad y características del fluido de fractura, como así

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 277 de 310

también la eficiencia del proceso de tratamiento del agua dado que será el determinante de la cantidad de crudo remanente. Sin embargo, se puede brindar una composición aproximada que será utilizada para el diseño del proceso de tratamiento de residuo.

Dicha composición es la siguiente:

- ✓ Sólidos: 85%.
- ✓ Humedad: 10%
- ✓ Petróleo: 5%.

13.2 MÉTODOS DE TRATAMIENTO

Son diversos los métodos existentes para el tratamiento de sólidos con hidrocarburos, dentro de los cuales se pueden encontrar métodos tanto físico-químicos, térmicos como biológicos. Normalmente, estos métodos se pueden hallar combinados de manera de lograr un diseño óptimo de proceso, el cual se obtiene realizando un balance adecuado entre el caudal de residuo a tratar, así como la concentración del hidrocarburo en él, los requerimientos energéticos, costos de aplicación, complejidad de los equipos, entre otros parámetros a considerar.

Los métodos más comúnmente aplicados se enumeran como sigue.

Tratamientos físico-químicos:

- Extracción con disolventes.
- Lavado.

Tratamientos térmicos:

- Desorción térmica.
- Incineración pirolítica.

Tratamientos biológicos:

- Biorremediación.
- Fitorremediación.

A continuación, se da una breve descripción de cada uno de los tratamientos nombrados.

13.2.1 Extracción con disolventes

Esta técnica consiste en el tratamiento de los sólidos con un solvente adecuado, de manera de extraer de ellos los contaminantes orgánicos. En una primera etapa del tratamiento, los sólidos con hidrocarburos y humedad son mezclados y agitados con el solvente, que luego en un decantador son separadas ambas fases. El solvente junto con

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 278 de 310

los hidrocarburos y una porción de agua que adicionalmente es extraída forman una emulsión que es bombeada hacia un separador, donde al agregar un desmenucionante apropiado, se separan las tres fases. El agua es evacuada por el fondo del separador, los hidrocarburos por la parte media y el solvente es recuperado por la parte superior para ser enviado nuevamente a la etapa de extracción.

13.2.2 Lavado

El lavado de los suelos se realiza con agua caliente (aproximadamente a 65°C) junto con un agente tensioactivo. Los componentes son mezclados en un equipo lavador que consiste en un tambor con movimientos de rotación, donde los hidrocarburos se extraen de la materia sólida. Luego, en un decantador, ambas fases son separadas. La corriente líquida, es tratada con un desmenucionante, para separar la fase acuosa de la oleosa, y de esta manera poder recircular el agua con el agregado del agente tensioactivo.

13.2.3 Desorción térmica


En el proceso de desorción térmica los hidrocarburos son eliminados por acción de calor. Los productos sólidos son alimentados a una cámara rotativa que es calentada mediante resistencias hasta temperaturas que oscilan entre 150° y 550°C. Los compuestos volatilizados, son tratados luego en una cámara de combustión donde se provoca la eliminación de los mismos.

13.2.4 Incineración pirolítica

Al igual que la desorción, la técnica de incineración pirolítica hace uso del calor para llevar a cabo el proceso. Estos tratamientos térmicos se diferencian en que este último, se realiza en un horno en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo, y a temperaturas que superan los 1000°C. En dichas condiciones se produce tanto la volatilización de los hidrocarburos, como la degradación del material sólido.

13.2.5 Biorremediación

La técnica de biorremediación consiste básicamente en el uso de microorganismos naturales (bacterias) que descomponen o degradan los hidrocarburos utilizándolos como una fuente de carbono para el crecimiento de sus células, convirtiéndolos de esta manera en sustancias inocuas para el medio ambiente. Estos tratamientos biológicos pueden ser de tipo aerobio, es decir, en presencia de oxígeno (medio oxidante) o bien, de tipo anaerobio (medio reductor).

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 279 de 310		

13.2.6 Fitorremediación

La fitorremediación, puede ser entendida como un método de remediación biológica ya que utiliza un medio natural para la degradación de los hidrocarburos. Esta técnica se basa principalmente en el uso de organismos vegetales, como plantas o algas, que realizan la descomposición utilizando los contaminantes como fuente de energía, absorbiéndolos a través de sus raíces.

13.3 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO

Para el tratamiento de los residuos sólidos empetrolados obtenidos en el proceso se escogerá el método de biorremediación, ya que presenta algunas ventajas por sobre el resto de los tratamientos, que se detallan a continuación.

- La razón principal se debe a la baja concentración de los hidrocarburos en los sólidos, ya que, si bien el resto de los métodos pueden resultar más eficientes con una velocidad mayor, en general son diseñados para tratar grandes caudales de sólidos con concentraciones considerablemente más altas.
- Es un método relativamente sencillo frente al resto, ya que sólo se precisa de los microorganismos que, al darles las condiciones adecuadas para su crecimiento, llevan a cabo prácticamente todo el proceso.
- Adicionalmente, debido a la sencillez expresada en el ítem anterior es el método de tratamiento más económico de los considerados. En primer lugar, se debe a que no precisa de grandes equipamientos. Por otra parte, en los métodos físicos se precisa de solventes o agentes tensioactivos que suelen usarse en grandes cantidades aumentando considerablemente los costos. Para el caso de los métodos térmicos, los mismos consumen una excesiva cantidad de energía eléctrica.
- El método de incineración catalítica particularmente, como ya se explicó, degrada tanto los contaminantes como el material sólido, por lo cual no permite su reutilización.
- El método de fitorremediación presenta ciertas ventajas como las nombradas, pero muestra además algunas limitaciones, por lo cual se prefiere la biorremediación con microorganismos. Dentro de dichas limitaciones se encuentra que las condiciones físicas y químicas del suelo para el crecimiento de

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 280 de 310

la materia vegetal son más estrictas (tales como pH, salinidad y el contenido de nutrientes). Además, toleran concentraciones de contaminante más bajas y dificultad para la accesibilidad a las zonas más profundas. Por lo tanto, estas tecnologías son especialmente utilizadas para su aplicación en grandes superficies. Adicionalmente, si la materia vegetal sólo almacena los hidrocarburos y no los degrada y convierte en material inocuo, se debe pensar en una disposición de la planta ahora contaminada.



13.4 DESCRIPCIÓN DE LA BIORREMEDIACIÓN

13.4.1 Tecnologías para la biorremediación

Tal y como se dijo en la sección anterior, la biorremediación es una técnica utilizada para el tratamiento de residuos que hace uso de microorganismos para la degradación de los mismos.

Es debido a las ventajas ya nombradas que presenta ante otros métodos de tratamiento, que la biorremediación ha sido altamente estudiada y desarrollada, por lo cual existen diversas tecnologías de aplicación que se adecuan a las diferentes necesidades y exigencias del proceso, las mismas pueden ser utilizadas aisladas o bien combinadas, para lograr el mejor diseño del proceso de tratamiento. A continuación, se describen brevemente estas diferentes tecnologías.

- Bioestimulación: consiste en suministrar al suelo los componentes limitantes tales como nutrientes y aceptores de electrones que estimulan el metabolismo y la velocidad de crecimiento de los microorganismos, acelerando las tasas de biodegradación dependiendo de las condiciones ambientales. Los sitios contaminados con petróleo representan una substancial fuente de carbono; sin embargo, los niveles de nitrógeno y fósforo generalmente son limitados.
- Bioaireación: es una forma de estimulación realizada con gases, como por ejemplo oxígeno y metano, estos son adicionados de forma pasiva en el suelo para estimular la actividad microbiana.
- Bioaumentación: es la inoculación de una alta concentración de microorganismos en el suelo contaminado para facilitar la biodegradación. Como se van a inocular, estos microorganismos deben ser seleccionados del suelo que se desea tratar. Este método es adecuado para lugares en donde no

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 281 de 310	

existen suficientes células microbianas o la población nativa no posee las rutas metabólicas necesarias para metabolizar los compuestos recalcitrantes.

- Compostaje: esta estrategia se realiza formando pilas de material que deben ser mezcladas y humedecidas periódicamente para promover la actividad microbiana.

13.4.2 Factores que intervienen en los procesos de biorremediación



Las condiciones en las que se desarrolla el proceso de biorremediación determinan el éxito o el fracaso de este proceso. Dentro de las condiciones más importantes que se deben tener en cuenta en todo proceso de biorremediación se encuentran las condiciones del suelo, tales como: concentración de contaminante, textura del suelo, temperatura, pH, humedad y disponibilidad de nutrientes, de aceptor y donador de electrones.

13.4.2.1 Concentración de contaminante

La concentración de la materia contaminante es un aspecto crucial para evaluar el desempeño del proceso de biorremediación, ya que es esta la que determinará las cantidades y tipos de microorganismos a utilizar, así como las condiciones que se precisan para su desarrollo. Si esta concentración es excesivamente alta puede resultar tóxica o inhibitoria para ciertos organismos, por lo cual debe ser cuidadosamente estudiado ya que la concentración óptima de sustrato varía para cada tipo.

13.4.2.2 Textura del suelo

La textura del suelo tiene un efecto importante en las propiedades físicas y características químicas del suelo afectando el comportamiento del mismo, especialmente la capacidad de retención de nutrientes. Además, las partículas del suelo (limo, arcilla, arena) influyen en otras propiedades y/o comportamiento de los suelos incluyendo: aireación, contenido y descomposición de materia orgánica, resistencia al cambio de pH y potencial de lixiviación de contaminantes. En general, se considera que los suelos con textura fina (alto contenido de arcilla o limo) presentan un mayor número de bacterias que los suelos de textura gruesa (alto contenido de arena). Los suelos de texturas finas contienen una mayor cantidad de bacterias, y se compactan con más facilidad evitando la transferencia de oxígeno y de nutrientes en la matriz del tratamiento.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 282 de 310	

13.4.2.3 Temperatura

La temperatura del suelo es una variable que afecta considerablemente el crecimiento de los microorganismos y por ende su metabolismo. En general se conoce que las bacterias que habitan en el suelo son mesófilas, por tanto, el rango de temperatura en el que son capaces de desempeñarse oscila entre los 15°C y 45°C, con un rango óptimo entre los 25°C y 35°C, decreciendo la biodegradación por desnaturalización de las enzimas a temperaturas superiores a 40°C e inhibiéndose a inferiores a 0°C.

13.4.2.4 pH

El pH del suelo es fundamental para el buen funcionamiento enzimático de los microorganismos, se han reportado valores de pH (7- 8) neutros como los que generan condiciones adecuadas para los procesos de biodegradación. Es por esta razón que muchos microorganismos no son capaces de tolerar valores extremos de pH, debido a que algunos compuestos naturales tienden a hidrolizarse o se desnaturalizan las enzimas.

13.4.2.5 Humedad

Los microorganismos requieren de un medio acuoso para transportar los nutrientes y llevar a cabo su metabolismo. Debido a que el agua es el mayor componente del citoplasma de las células, una cantidad adecuada permitirá el movimiento de nutrientes tanto al interior de las células, como en la matriz del sistema. Por tanto, la humedad es un factor clave en el crecimiento bacteriano, una cantidad baja de humedad, refleja una baja actividad microbiana producto de la poca transferencia de nutrientes y una cantidad elevada de agua, produce una reducción significativa en la transferencia de oxígeno por tanto el metabolismo bacteriano carecerá de su aceptor final de electrones. Para los procesos de biorremediación aerobios los rangos de humedad que presentan tasas de degradación de contaminantes más altas oscilan entre 20% - 40% de humedad.

13.4.2.6 Disponibilidad de nutrientes

La disponibilidad de nutrientes es un factor esencial para el desarrollo del proceso de biorremediación. Las células bacterianas requieren una fuente de nitrógeno (Nitrato o Amonio), para llevar a cabo todas las reacciones relacionadas con la replicación de los ácidos nucleicos y con la síntesis de proteína. Adicionalmente, se requiere de fósforo

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 283 de 310	

para la síntesis de ATP, siendo la molécula esencial que brinda energía a la célula. Otro factor a tener en cuenta es el grado de biodisponibilidad que esté presente debido a que no todas las formas de nitrógeno ni de fósforo son asimilables por las bacterias. En el caso del fósforo se conoce que la mayoría de suelos tienen un bajo contenido de fósforo debido a su baja solubilidad y biodisponibilidad, pues precipita en presencia de cationes como Ca^{+2} , Mg^{+2} y Fe^{+3} en un pH desde neutro, hasta alcalino. Además, se debe considerar que el nitrógeno puede perderse rápidamente en el suelo debido a la lixiviación del amonio y el nitrato, y debido a procesos de desnitrificación del suelo. Es necesario adicionar fuentes de nitrógeno como nitratos y amonio y fuentes de fósforo como los fosfatos para garantizar la presencia de estos en el suelo, para que estos puedan ser asimilados por las bacterias.

13.4.2.7 Presencia de aceptor y donador de electrones

La respiración microbiana es la energía que requieren para desarrollar sus funciones vitales, mediante una secuencia compleja de reacciones de óxido-reducción. Mediante la respiración, los electrones son transferidos desde un donante a un aceptor a través de un transportador biológico de electrones, produciendo energía química, la cual es almacenada en moléculas de adenosín trifosfato (ATP). El tipo de aceptor de electrones utilizado establece el tipo de metabolismo, determinando las reacciones específicas que pueden ocurrir o no ocurrir. En el caso del proceso de biorremediación, el donador de electrones puede ser el contaminante o algunos cofactores reducidos, mientras que el aceptor depende del tipo de proceso a implementar (aerobio o anaerobio). En los procesos aerobios el aceptor final de electrones es el oxígeno, mientras que en los anaerobios puede ser el ion nitrato o sulfato. Para descontaminar suelos impactados por hidrocarburos los procesos aeróbicos son más eficientes debido a que en los procesos anaerobios la degradación de hidrocarburos ocurre de una manera más lenta.

13.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso elegido es del tipo discontinuo (Batch) debido a la diferenciación de la materia prima que se va a tratar en diferentes tanques API. Esta diversidad de condiciones iniciales de los sólidos para su tratamiento implica que no se puede realizar un tratamiento del tipo continuo.

La alimentación, sólidos más hidrocarburo, es retirado del tanque API para ser depositado dentro del reactor biológico por medio de una bomba. Una vez cargado el reactor, se inyecta aire previamente filtrado para iniciar con la reacción. Los productos

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 284 de 310		

de dicha reacción son dióxido de carbono, lodos y agua. En cuando al dióxido de carbono obtenido, este es liberado a la atmósfera, y el proceso continúa con el agua y los lodos.

En el reactor biológico, la descomposición del hidrocarburo se lleva a cabo en dos etapas. En la primera de estas, se produce la hidrólisis de las cadenas carbonadas largas a cadenas de menor tamaño. Es decir, el microorganismo utilizado debe ser capaz de consumir y degradar hidrocarburos de cadena alargada y en una etapa posterior, el microorganismo que se elija debe consumir las cadenas cortas de hidrocarburos producidas.

Los lodos obtenidos son enviados a un sedimentador del tipo horizontal donde, de ser necesario, se incorporan agentes coagulantes y floculantes para facilitar la sedimentación.

El agua que se recoge en el reactor, más el agua recuperada del sedimentador son desinfectadas con agua lavandina obteniendo así las condiciones necesarias para ser vertidas, controlando siempre el cloro residual.

El diagrama de flujo del proceso descrito es el siguiente:

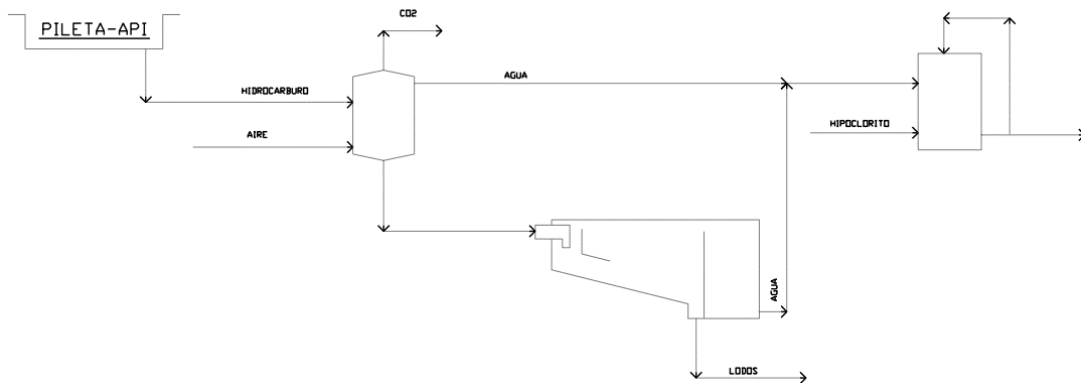






Figura 13.1. Diagrama de Flujo del Proceso.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 285 de 310	

13.6 BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Riesco, R. (Junio 2012). *Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Dr. Ercoli, E. *Tratamiento biológicos. Tema 11*.
- Gallego, P.; Cuellar, R. y Dussan, J. (Dic. 2004). *Biorremediación de residuos de petróleo*.
- Guardián Portocarrero y M.; Villegas, T. (Dic. 2002). *Biodegradación de desechos del refinamiento del petróleo a base de microorganismos eficientes (EM)*. Universidad Earth, Costa Rica.
- Maroto Arroyo, M.; Rogel Quesada, J.M. *Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos*.
- Observatorio petrolero sur.(Mayo, 2017). *Basureros petroleros, ¿qué son y dónde se encuentran?*. (<http://www.opsur.org.ar/blog/2017/05/23/basureros-petroleros-que-son-y-donde-se-encuentran/>)
- Ortiz, E.; Núñez, R.; Fonseca, E.; Oramas, J.; Almazán, V.; Cabranes, Y. Miranda, A.; Barbán, O; Martínez, C.; Díaz, Y.; y Borges, G. (2005). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Revista Contribución a la Educación y la Protección del Medio Ambiente. (6): 51-60. (Pág. 51-60).
- Trejos Delgado, M.(2007). *Evaluación de un proceso de biorremediación aplicado a un suelo con petróleo crudo*. Universidad Nacional de Colombia.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 286 de 310		

14 ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

El procedimiento general de estudiar los proyectos de inversión se centra en la recopilación, creación y sistematización de información que permita identificar ideas de negocios y medir cuantitativamente los costos y beneficios de un eventual emprendimiento comercial. A lo largo del tiempo se han observado grandes avances en el desarrollo de modelos y técnicas de predicción y análisis, en la manera de sistematizar la información para que satisfaga los requerimientos de todos los agentes económicos que participan de la decisión y en los modelos complementarios de simulación y riesgo.

En cualquier tipo de empresa, la gestión financiera de los directivos se caracteriza por la búsqueda permanente de mecanismos que posibiliten la creación y el mantenimiento de valor, mediante la asignación y el uso eficiente de los recursos. La evaluación de proyectos, en este contexto, se debe entender como un modelo que facilita la comprensión del comportamiento simplificado de la realidad, por lo que los resultados obtenidos, aunque son útiles en el proceso decisional, no son exactos.

14.1 ESTUDIO DE VIABILIDAD

La responsabilidad del evaluador de proyectos es aportar el máximo de información para ayudar al decisor a elegir la mejor opción. Para esto, es fundamental identificar todas las opciones y sus viabilidades como único camino para lograr uno óptimo con la decisión.

El análisis del entorno donde se sitúa la empresa y del proyecto que se evalúa implementar es fundamental para determinar el impacto de las variables controlables y no controlables, así como para definir las distintas opciones mediante las cuales es posible emprender la inversión. Tan importante como identificar y dimensionar las fuerzas del entorno que influyen o afectan el comportamiento del proyecto, la empresa o, incluso, el sector industrial al que pertenece es definir las opciones estratégicas de la decisión en un contexto dinámico.

El estudio del entorno demográfico, permite determinar el comportamiento de la población atendida por otras empresas y de aquella por atender con el proyecto, su tasa de crecimiento, los procesos de migración, la composición por grupos de edad, sexo, educación y ocupación, la población económicamente activa, empleada y desempleada, etcétera.

El estudio del entorno cultural obliga a realizar un análisis descriptivo para comprender los valores y el comportamiento de potenciales clientes, proveedores, competidores y

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 287 de 310		

trabajadores. Para ello, es importante estudiar las tradiciones, los valores y principios éticos, las creencias, las normas, las preferencias, los gustos y las actitudes frente al consumo

El estudio del entorno tecnológico busca identificar las tendencias de la innovación tecnológica en los procesos de producción y apoyo a la administración, así como el grado de adopción que de ella hagan los competidores.

Para recomendar la aprobación de cualquier proyecto, es preciso estudiar un mínimo de tres viabilidades que condicionarán el éxito o el fracaso de una inversión: *la viabilidad técnica, la legal y la económica*. Otras dos viabilidades, no incluidas generalmente en un proyecto, son la de gestión y la política. Estas dos, si bien pueden estudiarse cada una en forma independiente, se incorporan como parte de la viabilidad económica, aunque solo en los aspectos que a esta corresponden. Por otra parte, una viabilidad cada vez más exigida en los estudios de proyectos es la que mide el impacto ambiental de la inversión.

- La *viabilidad técnica* busca determinar si es posible, física o materialmente, llevar a cabo un proyecto, determinación que es realizada generalmente por los expertos propios del área en la que se sitúa el proyecto. En algunos casos, el estudio de esta viabilidad puede llegar, incluso, a evaluar la capacidad técnica y el nivel de motivación del personal de la empresa que se involucraría en el nuevo proyecto.
- La *viabilidad legal*, por otra parte, se refiere a la necesidad de determinar tanto la inexistencia de trabas legales para la instalación y la operación normal del proyecto como la falta de normas internas de la empresa que pudieran contraponerse a alguno de los aspectos de la puesta en marcha o posterior operación del proyecto.
- La *viabilidad económica* busca definir, mediante la comparación de los beneficios y costos estimados de un proyecto, si es rentable la inversión que demanda su implementación.
- La *viabilidad de gestión* busca determinar si existen las capacidades gerenciales internas en la empresa para lograr la correcta implementación y la eficiente administración del negocio. En caso de no ser así, se debe evaluar la posibilidad de conseguir el personal con las habilidades y capacidades requeridas en el mercado laboral.
- La *viabilidad política* corresponde a la intencionalidad, por parte de quienes deben decidir, de querer o no implementar un proyecto, independientemente de su rentabilidad.
- La *viabilidad ambiental*, por último, busca determinar el impacto que la implementación del proyecto tendría sobre las variables del entorno ambiental, como

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 288 de 310		



por ejemplo los efectos de la contaminación. Esta viabilidad abarca a todas las anteriores, por cuanto tiene inferencias técnicas (selección del sistema de evacuación de residuos), legales (cumplimiento de las normas sobre impacto ambiental) y económicas (la elección de una opción que, aunque menos rentable que la óptima, posibilite el cumplimiento de las normas de aceptabilidad del proyecto, como por ejemplo el tamaño de un edificio de estacionamientos para alquiler en función del impacto vial máximo permitido).

La viabilidad ambiental es diferente del estudio de impacto ambiental que se realiza en el estudio de la viabilidad económica. En este último, se determinan tanto los costos asociados con las medidas de mitigación parcial o total como los beneficios asociados con los años evitados, y ambos efectos se incluyen dentro del flujo de caja del proyecto que se evalúa. Económicamente, las medidas de mitigación de daños ambientales se adelantan hasta el punto en que el valor marginal del daño evitado se iguale con el costo marginal del control de daños. Desde esta perspectiva, se busca minimizar el costo total del proyecto, para lo cual es permisible un cierto nivel de daño ambiental residual, que en muchos casos no tiene un carácter permanente.

14.2 ESTUDIO DE RENTABILIDAD

El estudio de la rentabilidad de una inversión busca determinar, con la mayor precisión posible, la cuantía de las inversiones, los costos y beneficios de un proyecto para posteriormente compararlos y decidir la conveniencia de emprender dicho proyecto. Consta de tres actividades muy diferentes entre sí –formulación, preparación y evaluación–, donde un error en cualquiera de ellas puede llevar a conclusiones equivocadas.

- La *formulación* es la más difícil e importante de todas las actividades para que el proyecto pueda efectivamente asignar los recursos de manera eficiente. En esta etapa, se definen primero las características del proyecto y luego la cuantificación de sus costos y beneficios. La cantidad de opciones que existen para configurar el proyecto obliga a identificar las más relevantes y proceder a su evaluación para determinar cuál es la mejor.
- La *preparación* es probablemente la etapa donde se cometen más errores, aunque es la más simple. En ella corresponde elaborar los flujos de caja, para el cual existen diversas y complementarias formas de hacerlo. Se puede construir un flujo para

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 289 de 310		

medir la rentabilidad del proyecto, otro para la rentabilidad de los recursos propios y otro para medir la capacidad de pago del financiamiento externo.

- La *evaluación* es el cálculo de la rentabilidad de la inversión, que puede expresarse de diferentes maneras: en unidades monetarias, como un porcentaje, una relación o un índice, o como el tiempo que demora la recuperación de la inversión. La evaluación del proyecto, cualquiera que sea el método usado, considera, para calcular la rentabilidad de la inversión, la ocurrencia de hechos futuros y estima los costos y beneficios futuros en uno solo de entre muchos escenarios posibles. Considerando esto último, esta etapa debe incluir un análisis adicional: la sensibilización de los resultados, la medición del riesgo y el análisis de opciones para su mitigación.

14.2.1 Etapa de formulación del proyecto: Estimación de costos

El término “costo” tiene muchas acepciones distintas, dependiendo del tipo de decisión que se quiera tomar, aunque la definición más adecuada para el análisis de inversiones es la que lo considera como la reducción en dinero que implica comprometer este recurso para una opción particular de negocios, antes de calcular el beneficio que ella reporta. En este sentido, el concepto de costo involucra la totalidad de egresos ocasionados por una alternativa, ya sea que se derive de una inversión, un gasto de operación o un costo de oportunidad.

Un costo de oportunidad corresponde al beneficio dejado de percibir cuando se abandona la opción de usar los recursos en otra oportunidad de negocios de la empresa.

14.2.1.1 Inversiones

Las inversiones del proyecto suponen todos aquellos costos que se concentran en su mayoría, antes del inicio de la operación del mismo, lo que comúnmente se denomina activo fijo. Son una gran cantidad los costos que deben ser considerados dentro de las inversiones como así también de distinta índole, por lo que los mismos se dividen para una mejor evaluación.

14.2.1.1.1 Equipos

Incluye a todos los activos físicos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento del proyecto y corresponde a la primera inversión que se debe calcular. Para calcular el costo de los equipos es necesario contar con el dato del tipo y detalle del mismo, así como de su costo unitario y la cantidad en unidades presentes en el proyecto, para

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 290 de 310	

calcular luego, el costo total. Para una adecuada selección del equipo y proveedor es importante considerar una serie de variables tales como:

- La identificación de todos los proveedores pertinentes, para comparar las cotizaciones y las calidades del servicio de venta y posventa.
- Las características y dimensiones de los equipos, para determinar la viabilidad técnica de su instalación en el lugar previsto o el requerimiento del espacio y la obra física que se deberá construir o reacondicionar.
- Las capacidades de diseño, para no optar por un equipo sobre o subdimensionado, que podría generar cuellos de botella o tener exceso de capacidad ociosa.
- El grado de flexibilización del uso de los equipos, para adecuarse a niveles de operación y procesos cambiantes.
- La tasa de crecimiento de sus costos –mantenimiento y operación– y su vida útil, para determinar si conviene optar, por ejemplo, por una tecnología más cara, pero con un plazo de reposición mayor.
- La necesidad de equipos auxiliares.
- El costo de instalación y puesta en marcha.
- Las garantías y el servicio técnico de posventa.

En la *Tabla 14.1*, se muestra la lista de equipos junto con los detalles de los mismos.

14.2.1.1.2 Obras físicas

Conocida la cantidad de equipos y su distribución física más adecuada a través de la confección del *layout* de la planta, se determinan los requerimientos de espacios para su instalación, así como los de los lugares como oficinas, sala de control, laboratorio, almacén, sanitarios, puesto de control, calles, caminos, entre otros.

Para la estimación de costos asociados a estas obras, se debe tener en cuenta, tanto el terreno que ocupan, como también la inversión necesaria para su construcción, tal como se muestran en las *Tablas 14.2 y 14.3*.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 291 de 310	

Tabla 14.1. Costos de equipamiento.

Equipamiento					
Equipo/Unidad	Detalle	Característica	Costo Unitario [U\$S/unidad]	Cantidad [unidad]	Total [U\$S]
R 201	Reactor	500 m ³	31059	1	31059
TK 101	Tanque Skimmer	2545 m ³	150000	1	150000
CF 103	Celda de Flotación	4 celdas	5000	1	5000
C 208	Centrífuga	P=1.5Kg/cm ²	10000	1	10000
D 204	Secadero	Rotativo	29000	1	29000
UF 301	Filtros	Antracita	3000	3	9000
TK 100	Tanque Alm. de Agua	6000 m ³	290000	1	290000
TK 202	Tanque NAOH	557 m ³	57200	1	57200
TK 203	Tanque Na ₂ CO ₃	1400 m ³	100000	1	100000
TK 302	Tanque Agua tratada	6000 m ³	290000	1	290000
S 205	Silo Na ₂ CO ₃	160 m ³	25000	1	25000
TK 207	Tanque sales	270 m ³	41504	1	41504
TK 102	Tanque Sólidos	1091 m ³	84785	1	84785
TK 104	Tanque Petróleo	2863 m ³	211025	1	211025
	Bomba Centrífuga	5000 m ³ /día	7500	18	135000
	PCP	(Hasta 150 psi)	15000	6	90000
	Cinta transportadora	180 m	500	180	90000
Total [U\$S]					1663573
Instrumentación y Control [U\$S]					174675,165
Costo total [U\$S]					1838248,17

Tabla 14.2. Costos de terreno.

Terreno		
Área [m²]	Costo [U\$S/m²]	Total [U\$S]
131350	15	1970250



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 292 de 310	

Tabla 14.3. Costos de Obras y Edificios.

Obras y Edificios		
Unidad	Área [m ²]	Construcción [U\$S]
Estacionamiento	60	325
Laboratorio	12	12000
Oficinas	9	9000
Almacenes	26	26000
Cocina-Comedor	12	12000
Sanitarios	6	6000
Panel de Control	16	16000
Total	141	81325



14.2.1.2 Capital de trabajo

El capital de trabajo lo constituyen aquellos recursos que requiere la empresa para poder operar. Es comúnmente denominado activo corriente. Los costos de operación de un proyecto se clasifican entre costos fijos y variables.

Los costos fijos totales son costos en que se deben incurrir en un periodo determinado, independientemente del nivel de producción en la empresa. Por su parte, los costos variables totales son aquellos que dependen del nivel de producción (costo de mano de obra, materias primas, etc.). Como cada unidad adicional producida incrementa el costo variable total, a su variación se la denomina costo marginal. La suma de ambos costos da el costo total del periodo. Dentro de los límites de una capacidad dada de planta, la empresa puede variar sus niveles de producción haciendo cambiar la cantidad de insumos ocupados y, por lo tanto, sus costos variables totales. Dentro de ciertos rangos, los costos fijos se mantienen constantes, pero también pueden variar.

Los costos fijos del proyecto están constituidos por los costos por recursos humanos, mantenimiento y otras tasas y seguros, mientras que dentro de los costos variables se incluyen los costos por materia prima y otros insumos o servicios auxiliares, como energía eléctrica o gas natural.

Una forma de calcular los costos fijos y variables es mediante la cuantificación de ambos ítems de costos y de todos sus componentes para distintos niveles de producción. Otra forma es determinarlos analizando el comportamiento histórico del costo total, en relación con la producción observada. Para ello, se efectúa una regresión simple y es de esta última forma, que se calcularon la totalidad de los costos para la presente estimación y se detallan a continuación.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 293 de 310	

14.2.1.2.1 Costos fijos

Mano de Obra

La forma más eficiente de calcular el costo del recurso humano es desagregando al máximo las funciones y tareas que se deben realizar en la operación del proyecto, con objeto de definir el perfil de quienes deben ocupar cada uno de los cargos identificados y de calcular la cuantía de las remuneraciones asociadas con cada puesto de trabajo, así como también el régimen de cada uno basados en el Convenio Colectivo de Trabajo.



De esta forma, queda definida la siguiente distribución de trabajo:

- 3 (tres) operarios de planta con un régimen de trabajo de 12 (doce) horas diarias durante 7 (siete) días de trabajo por 7 (siete) días de descanso.
- 1 (un) laboratorista cuyo régimen de trabajo debe ser de lunes a viernes durante 8 (ocho) horas diarias. En el caso de necesitar un eventual reemplazo a la persona que ocupe este puesto, los operadores deben estar debidamente capacitados para poder realizar la tarea sin inconvenientes.
- 1 (un) supervisor de tareas con un régimen de 8 (ocho) horas diarias durante los días de semana.
- 1 (una) persona encargada de la limpieza y mantenimiento de oficinas, almacenes, cocina-comedor, y lugares de uso múltiples. Dicha persona debe cumplir con 8 (ocho) horas diarias de trabajo durante lunes a viernes.

A continuación, en la *Tabla 14.4* se muestra la lista de personal nombrado junto con el detalle del monto salarial percibido por cada uno.

Tabla 14.4. Costo de Recursos Humanos.

Costo de Recursos Humanos					
Personal	Recurso	Monto [U\$S/año p/persona]	Monto Total [U\$S/año]	Prestaciones Sociales [U\$S/año]	Total [U\$S/año]
Operador	3	18000	54000	32400	86400
Laboratorista	1	12000	12000	7200	19200
Supervisor	1	30000	30000	18000	48000
Limpieza y Mantenimiento	1	7800	7800	4680	12480
Total	6	67800	103800	62280	166080

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 294 de 310		

Mantenimiento

Las decisiones de inversión y gastos en tareas de mantenimiento de equipos están fuertemente vinculadas con las políticas para enfrentar las fallas que generalmente ocurren en los procesos de producción. Son varios los tipos de mantenimiento que se le realiza a las maquinarias, piezas y equipos; entre los que se destacan los siguientes:

- Mantenimiento correctivo, basado en una reacción a la ocurrencia de la falla. Se realiza para recuperar la funcionalidad u operatividad de un equipo después de perder su capacidad para realizar la función que le correspondía, producto de esa falla.
- Mantenimiento preventivo, realizado a intervalos de tiempo predeterminados, para minimizar la ocurrencia de las fallas.
- Mantenimiento de inspección, condicionado al resultado de observaciones a intervalos de tiempo predeterminados que pueden dar origen a mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento de oportunidad, en el cual se hacen tareas de mantenimiento a elementos complementarios a uno averiado, durante la realización de una acción de mantenimiento correctivo o preventivo.

Las tareas de mantenimiento tienen múltiples objetivos, como por puede ser la reducción del cambio de condición técnica, que permite alargar la vida útil de los activos; la disminución de la probabilidad de fallas o desperfectos; la reducción de costos o el aumento de eficacia; la recuperación de la funcionalidad del activo que presenta una falla; la disminución de mermas y materiales dañados; la mejor respuesta a clientes y la mayor capacidad de planificar la producción. Es por ello que estas acciones deben ser debidamente consideradas y para la estimación de su costo, se toma por convención un porcentaje de la inversión en equipamiento, que es aproximadamente el 3%.

14.2.1.2.2 Costos variables

Insumos

Dentro de esta categoría de egresos, se contemplan todos los insumos que requiere el proyecto, tales como la materia prima y otros productos químicos agregados en el proceso como así también se deben tener en cuenta los costos asociados a los consumos de energía eléctrica y gas natural.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 295 de 310	

Para el cálculo de estos costos, se realiza un balance sobre la cantidad consumida de cada insumo que, multiplicado por su costo unitario, da como resultado el costo total. En las tablas 14.5, 14.6, 14.7 y 14.8 se resumen estos cálculos de los costos para cada insumo nombrado.

Tabla 14.5. Costos de Materia Prima.

Costos de Materia Prima			
Materia Prima	Consumo [ton/año]	Costo [U\$S/ton]	Total [U\$S/año]
Carbonato de Sodio	21375	260	5557500
Hidróxido de Sodio	15000	774	11610000
Total	36375		17167500

Tabla 14.6. Costo de Productos Químicos.

Costo de Productos Químicos		
Consumo [m3/año]	Precio [U\$S/m3]	Total [U\$S]
1825	2000	3650000

Tabla 14.7. Costos de Energía Eléctrica.

Costo Energético			
Tipo	Consumo [KWh/año]	Costo [U\$S/KWh]	Total [U\$S]
Equipos	350400	0,08	28032
Alumbrado	7000	0,08	560,64
Total			28592,64

Tabla 14.8. Costos de Gas Natural.

Costo de Gas		
Consumo [m3/año]	Costo [U\$S/m3]	Total [U\$S]
600000	0,069	41400

14.2.1.3 Amortizaciones

Las amortizaciones o depreciaciones se definen como una pérdida del valor promedio anual para activos, que se produce dado que cuando el activo es usado, empieza a perder valor, por el deterioro normal de ese uso y también por el paso del tiempo. De manera más estricta, se usa el termino depreciación cuando se refiere a la pérdida de valor

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 296 de 310	

contable de activos fijos y amortización cuando se refiere a un activo intangible. En el presente proyecto, se utilizan estos términos de manera indistinta.

La depreciación, por lo tanto, no constituye un egreso de caja (el egreso se produce en la compra del activo), pero es posible restarlo de los ingresos para reducir la utilidad y, con ello, los impuestos, es decir que, al no constituir un desembolso de caja, lo único relevante para la evaluación del proyecto es el efecto tributario de la depreciación de los activos. Este el efecto tributario está dado solo por el porcentaje del impuesto vigente sobre el valor de la depreciación.

Es importante aclarar que hay activos que no pierden valor (como los terrenos) y, por lo tanto, no se amortizan. Es por ello, que para el cálculo de las amortizaciones se consideraron los activos que son susceptibles a deterioro como los equipamientos y las Obras y Edificios, tal como se muestra en la *Tabla 14.9*. La amortización de cada activo se realiza, dividiendo el valor total estimado en su adquisición por el número de años en que se debe depreciar, es decir 10 años.

Tabla 14.9. Amortizaciones.

Periodo/Activo	Obras y Edificios [U\$S]	Equipamiento [U\$S]	Total [U\$S]
1	8132,50	183824,82	191957,32
2	8132,50	183824,82	191957,32
3	8132,50	183824,82	191957,32
4	8132,50	183824,82	191957,32
5	8132,50	183824,82	191957,32
6	8132,50	183824,82	191957,32
7	8132,50	183824,82	191957,32
8	8132,50	183824,82	191957,32
9	8132,50	183824,82	191957,32
10	8132,50	183824,82	191957,32

14.2.1.4 Ingresos

La rentabilidad que se estime para cualquier proyecto depende de la magnitud de los beneficios netos que la empresa obtenga a cambio de la inversión realizada en su implementación, sean estos obtenidos mediante la agregación de ingresos o la creación de valor a los activos de la empresa, o mediante la reducción de costos. Hay dos tipos de beneficios que, por la información que proveen para la toma de decisiones, deben ser

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 297 de 310	

considerados en la evaluación de una inversión e incorporados en la construcción de los flujos de caja de los proyectos: aquellos que constituyen ingresos y aquellos que no son movimientos de caja.

En el primer caso, se encuentran los ingresos por la venta del producto o servicio, activos o subproductos, y se incluyen también los ahorros de costos que se puedan realizar. Todos ellos constituyen beneficios que aumentan la liquidez de la empresa y, por lo tanto, se incluyen dentro del concepto de ingreso.

En el segundo caso, se consideran los beneficios que no constituyen ingresos de caja; por ejemplo, el valor de desecho del proyecto al final del periodo de evaluación y la recuperación de la inversión en capital de trabajo. La empresa, cuando hace una inversión, además de recibir el beneficio generado por la utilización de los activos comprados, tiene el beneficio de la propiedad de esos activos cualquiera que sea el momento en que se considere valorarlos. El valor de desecho del proyecto representa el valor que se asigna, al final del periodo de evaluación, a los saldos de la inversión realizada.

Los ingresos considerados para la evaluación del proyecto son los siguientes:

- En primer lugar, se incluyen las ventas del agua tratada (producto) cuya valorización se realiza de manera de exigir una rentabilidad del 20% por encima de los gastos directos e indirectos.
- La venta de los subproductos obtenidos también constituye una gran fuente de ingresos. Estos subproductos son las sales de calcio, magnesio y hierro que se obtienen durante el tratamiento y su costo de venta se fija realizando una regresión del precio histórico para las mismas, colocando el precio final lógicamente por debajo del valor obtenido.

En función de la cantidad de producción anual y el precio fijado para cada producto, es posible calcular los ingresos totales obtenidos, tal como se muestra en las *Tablas 14.10, 14.11 y 14.12.*

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 298 de 310		

Tabla 14.10. Ingresos por Producto Principal.

Producto Principal: Agua tratada	
Periodo	1 al 10
Producción [m3/año]	1825000
Precio [U\$S/m3]	11,5
Total [U\$S]	20987500

Tabla 14.11. Ingresos por subproductos.

Subproductos			
Periodo 1 al 10	Carbonato de calcio	Hidróxido de Magnesio	Hidróxido de Hierro
Producción [tn/año]	20000	9610	876
Precio [U\$S/ton]	90	120	80
Total [U\$S]	1800000	1153200	70080

Tabla 14.12. Ingresos totales.

Ingresos totales	
Periodo	1 al 10
Total Ingresos [U\$S]	24010780

14.2.2 Etapa de Preparación del proyecto: Flujo de caja

Un flujo de caja se estructura en varias columnas que representan los momentos en que se generan los costos y beneficios de un proyecto. Cada momento refleja dos sucesos: los movimientos de caja ocurridos durante un periodo, generalmente de un año, y los desembolsos que deben estar realizados para que los eventos del periodo siguiente puedan ocurrir.

Un factor de mucha relevancia en la confección correcta de un flujo de caja es la determinación del horizonte de evaluación que, en una situación ideal, debería ser igual a la vida útil real del proyecto. De esta forma, la estructura de costos y beneficios

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 299 de 310	

futuros de la proyección estaría directamente asociada con la ocurrencia esperada de los ingresos y egresos de caja en el total del periodo involucrado. Sin embargo, la mayoría de las veces esto no sucede, ya que el ciclo de vida real puede ser tan largo que hace imposible confiar en las proyecciones más allá de cierto plazo o porque la comparación de alternativas de vidas útiles muy distintas hace conveniente optar por los criterios que se adecuen a cada situación.

El presente proyecto se evalúa en un horizonte de tiempo de 10 años, por lo que se construye un flujo de caja con 11 columnas, una para cada año de funcionamiento y otra, la columna 0, para reflejar todos los desembolsos previos a la puesta en marcha.

Por lo tanto, para completar los distintos puntos a considerar en el flujo de caja, se hace uso lógicamente de la información recolectada durante la etapa de formulación del proyecto:

- Los ingresos y egresos afectos a impuestos incluyen todos aquellos movimientos de caja que, por su naturaleza, puedan alterar el estado de pérdidas y ganancias (o estado de resultados) de la empresa y, por lo tanto, la cuantía de los impuestos a las utilidades que se podrán generar por la implementación del proyecto.
- Los gastos no desembolsables corresponden a gastos que, sin ser salidas de caja, es posible agregar a los costos de la empresa con fines contables, permitiendo reducir la utilidad sobre la cual se deberá calcular el monto de los impuestos a pagar (amortizaciones).

Como resultado de las sumas y restas de ingresos y gastos, tanto efectivos como no desembolsables, se obtiene la utilidad antes de impuestos. En la tercera etapa, la del cálculo del impuesto, corresponde aplicar la tasa tributaria porcentual sobre las utilidades para determinar el monto impositivo, que sí es un egreso efectivo necesario de incorporar en la construcción del flujo de caja. Dado que los gastos no desembolsables no constituyen una salida de caja y son restados solo para calcular la cuantía de los tributos, después de calcular el impuesto se deben efectuar los ajustes por gastos no desembolsables. Aquí, todos los gastos que no constituyen egresos se vuelven a sumar para anular su efecto directo en el flujo de caja, pero dejando incorporado su efecto tributario. Después de calculado y restado el impuesto, se obtiene la utilidad neta.

Aplicando este procedimiento entonces, el flujo de caja obtenido para el proyecto se muestra a continuación (*Tabla 14.13*).


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	Integrantes: Cerda, Candela Jazmín (candela.jcerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
Profesor: Spesot, Horacio	JTP: Krumrick, Ezequiel	Ayudante: Silva, Cristian	Página 300 de 310

Tabla 14.13. Flujo de caja.

Periodo		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	Activo Fijo (US\$)	3889823,2										
	Capital de Trabajo (US\$)	2592923,8										
	Total (US\$)	6482746,9										
Ingresos	Por venta (U\$s)		24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0
	Total (US\$)		24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0	24010780,0
Egresos	Costo Fijo (US\$)	243907,2	243907,2	243907,2	243907,2	243907,2	243907,2	243907,2	243907,2	243907,2	243907,2	243907,2
	Costo Variable (US\$)	20887492,6	20887492,6	20887492,6	20887492,6	20887492,6	20887492,6	20887492,6	20887492,6	20887492,6	20887492,6	20887492,6
	Total (US\$)	21131399,8	21131399,8	21131399,8	21131399,8	21131399,8	21131399,8	21131399,8	21131399,8	21131399,8	21131399,8	21131399,8
Amortizaciones (US\$)			191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3
Utilidad antes de impuestos			2687422,9	2687422,9	2687422,9	2687422,9	2687422,9	2687422,9	2687422,9	2687422,9	2687422,9	2687422,9
Impuestos	Ganancia (35%)		940598,0	940598,0	940598,0	940598,0	940598,0	940598,0	940598,0	940598,0	940598,0	940598,0
	Ingresos Brutos (1,5%)		40311,3	40311,3	40311,3	40311,3	40311,3	40311,3	40311,3	40311,3	40311,3	40311,3
	De Sellos (2%)	129654,9										
	Total (US\$)	129654,9	980909,3	980909,3	980909,3	980909,3	980909,3	980909,3	980909,3	980909,3	980909,3	980909,3
Utilidad neta			1706513,5	1706513,5	1706513,5	1706513,5	1706513,5	1706513,5	1706513,5	1706513,5	1706513,5	1706513,5
Amortizaciones (US\$)			191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3	191957,3
Valor residual (US\$)												8532567,6
Flujo neto de fondos (US\$)		-6612401,9	1898470,8	1898470,8	1898470,8	1898470,8	1898470,8	1898470,8	1898470,8	1898470,8	1898470,8	10431038,4
Flujo neto de fondos acumulados (US\$)			-4713931,0	-2815460,2	-916989,4	981481,5	2879952,3	4778423,1	6676893,9	8575364,8	10473885,6	20904874,0


14.2.3 Etapa de Evaluación del proyecto

La evaluación del proyecto compara, mediante distintos instrumentos, si el flujo de caja proyectado permite al inversionista obtener la rentabilidad deseada, además de recuperar la inversión. Los métodos más comunes corresponden al valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión (PRI).

14.2.3.1 Valor actual neto

El valor actual neto (VAN) es el método más conocido y más generalmente aceptado por los evaluadores de proyectos. Mide el excedente resultante después de obtener la rentabilidad deseada o exigida y después de recuperar toda la inversión. Para ello, calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja, proyectados a partir del primer periodo de operación, y le resta la inversión total expresada en el momento 0.

Si el resultado es mayor que 0, muestra cuánto se gana con el proyecto, después de recuperar la inversión, por sobre la tasa de retorno que se exigía al proyecto; si el resultado es igual a 0, indica que el proyecto reporta exactamente la tasa que se quería obtener después de recuperar el capital invertido; y si el resultado es negativo, muestra el monto que falta para ganar la tasa que se deseaba obtener después de recuperada la inversión. Cuando el VAN es negativo, el proyecto puede tener una alta rentabilidad, pero será inferior a la exigida. En algunos casos, el VAN negativo puede incluso indicar que, además de que no se obtiene rentabilidad, parte o toda la inversión no se recupera.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 301 de 310	

14.2.3.2 Tasa interna de retorno

Un segundo criterio de evaluación lo constituye la tasa interna de retorno (TIR), que mide la rentabilidad como porcentaje y representa la máxima tasa exigible que hace que el VAN sea 0, por ello se define a veces como la sensibilización de la tasa de descuento del proyecto, ya que mide el máximo costo que se podría pagar por el capital.

Gráficamente, esto se expresa como:

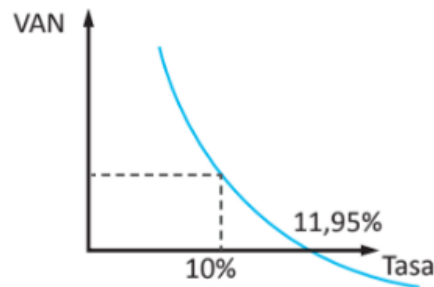


Gráfico 14.1. Relación entre VAN y TIR.

En un flujo de inversión (egreso inicial y flujos positivos a futuro), pueden darse varias situaciones en la relación del VAN con la TIR:

Tabla 14.14. Relación del VAN con la TIR.

VAN > 0 y TIR > 0	La rentabilidad es superior a la exigida después de recuperar toda la inversión.
VAN = 0 y TIR > 0	La rentabilidad es igual a la exigida después de recuperar toda la inversión.
VAN < 0 y TIR > 0	La rentabilidad es inferior a la exigida después de recuperar toda la inversión.
VAN < 0 y TIR = 0	La rentabilidad es 0, pero se recupera toda la inversión.
VAN < 0 y TIR < 0	La rentabilidad es 0 y no se recupera toda o parte de la inversión.

A continuación, se muestran los valores de la TIR y el VAN obtenidos para el proyecto, con una tasa de descuento exigida del 20%. Como se puede observar, los valores obtenidos son sumamente aceptables, dado que según lo expuesto en la *Tabla 14.14*, significa que es posible mediante el proyecto recuperar la totalidad de la inversión y obtener, además una rentabilidad incluso superior a la exigida.


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 302 de 310	

Tabla 14.15. Valores de TIR y VAN obtenidos.

Tasa de Descuento [%]	20%
TIR [%]	26%
VAN [U\$S]	\$ 1.812.130

14.2.3.3 Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es el tercer criterio más usado para evaluar un proyecto y tiene por objeto medir en cuánto tiempo se recupera la inversión, incluyendo el costo de capital involucrado.

La importancia de este indicador es que complementa la información, muchas veces oculta por el supuesto de que, si el flujo no alcanza, “se adeuda” tanto del VAN como de la TIR.

Para calcular el PRI, se debe considerar la inversión total y el flujo neto de fondos anual, dado que si a este último se le resta la rentabilidad que se le exige al proyecto (en este caso 20%), se obtiene el saldo remanente disponible para recuperar la inversión. Según lo expuesto en la *Tabla 14.16*, el periodo de recuperación de la inversión del proyecto resulta ser de 4 años.

Tabla 14.16. Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)				
Periodo [año]	Saldo de Inversión [U\$S]	Flujo neto de fondos anual [U\$S]	Rentabilidad Exigida [U\$S]	Recuperación Inversión [U\$S]
0	-6612401,9	1898470,8	379694,2	1518776,7
1	-5093625,2	1898470,8	379694,2	1518776,7
2	-3574848,5	1898470,8	379694,2	1518776,7
3	-2056071,9	1898470,8	379694,2	1518776,7
4	-537295,2	1898470,8	379694,2	1518776,7
5	981481,5	1898470,8	379694,2	1518776,7
6	2500258,1	1898470,8	379694,2	1518776,7
7	4019034,8	1898470,8	379694,2	1518776,7

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 303 de 310	

14.2.4 Punto de Equilibrio

El estudio de costos finaliza con la determinación del punto de equilibrio económico, el cual corresponde a aquel nivel de operaciones en el que los ingresos se equiparan en importe a los gastos y costos. Por lo tanto, puede definirse también como el volumen mínimo de ventas que debe lograrse para comenzar a obtener utilidades.

El conocimiento de los costos totales (constantes + variables) y ventas por cada programa se construye el diagrama de equilibrio apreciándose para cada nivel de cumplimiento del programa la evolución de los costos y ventas a través de sus respectivas líneas. En el punto de intersección de estas se tiene el “punto de equilibrio” donde los costos y ventas se igualan determinando a la derecha del mismo la zona de utilidades y a la izquierda las pérdidas.

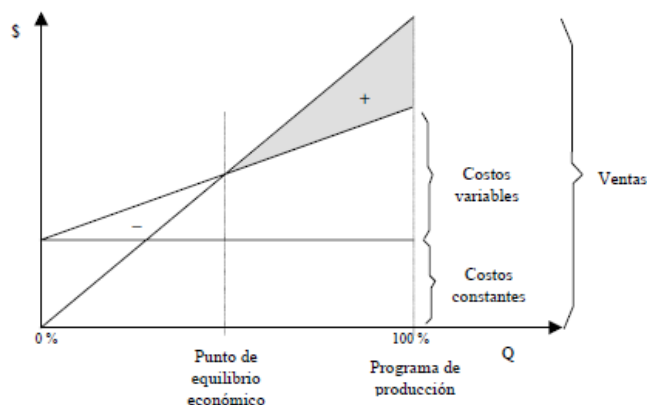



Gráfico 14.2. Punto de Equilibrio.

Para el caso del proyecto, los valores de costos e ingresos por ventas, son los siguientes:

- Ingresos por ventas [U\$\$/día] 65782.9589
- Costos Fijos [U\$\$/día] 668.2388767
- Costos Variables [U\$\$/día] 57226.00723
- Producción [m³/día] 5000
- Costos Totales [U\$\$/día] 57894.24611
- Ingreso Unitario [U\$\$/m³] 13.15659178
- CV unitario [U\$\$/m³] 11.44520145

Al graficar dichos valores para un rango de producción de 300 m³/día a 500 m³/día, se obtiene:

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA		<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018		
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 304 de 310		

El punto de equilibrio se encuentra cuando $CF+P*CVU=IU*P$. Por lo tanto, dicho punto se encuentra en: $P=CF/(IU-CVU)$. Como se observa en el gráfico, el Punto de Equilibrio hallado es:

PE [m³/día] 390.465497
PE [U\$S/día] 5137.19514

Donde:

- CF: Costos Fijos
- P: Producción Diaria
- CVU: Costos Variables Unitarios
- IU: Ingresos Unitarios

14.2.5 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad consiste básicamente en el estudio de la variabilidad que puede exhibir uno o más de los componentes del flujo de caja. Este análisis se realiza dado que los criterios de evaluación miden la rentabilidad de la inversión para solo uno de tantos escenarios posibles, pues para la realización del flujo de caja, se suponen comportamientos fijos para cada variable, lo que se conoce como decisiones bajo certidumbre. Sin embargo, siempre existen dudas del cumplimiento del escenario proyectado ya que estos son inevitablemente susceptibles a cambios o modificaciones constantes, por lo que se debe analizar el riesgo, incertidumbre y sensibilidad del mismo. Los cambios que se producen en el comportamiento de las variables del entorno provocan que sea prácticamente imposible esperar que la rentabilidad calculada sea la que efectivamente tenga el proyecto implementado. Es por ello, que esta etapa incluye un análisis acerca de la sensibilización de los resultados dentro de rangos probables, en los supuestos que determinaron las estructuras de costos y beneficios, así como también la medición del riesgo y el análisis de opciones para su mitigación. Anticipar estas variaciones permite a la empresa no solo medir el impacto que podrían ocasionar en sus resultados, sino también reaccionar ante dicho impacto.

Existen dos modelos distintos para efectuar el análisis de sensibilidad que se explican a continuación.

- *Análisis multidimensional:* Constituye el método más tradicional y comúnmente utilizado. Consiste en analizar el efecto que produce en el VAN, la modificación del valor de una o más variables que se consideran susceptibles de cambiar durante el periodo de evaluación. El procedimiento propone que se confeccionen

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 305 de 310	

tantos flujos de caja como posibles combinaciones se identifiquen entre las variables que componen el mismo. Empero, La aplicación de este modelo, conduce en ocasiones a elaborar una excesiva cantidad de flujos de caja. Por lo cual, se recurre a un modelo simplificado del mismo que plantea que se debe sensibilizar el proyecto a solo dos escenarios: uno optimista y otro pesimista.

- *Análisis unidimensional:* Este modelo plantea que, en lugar de analizar la variación del valor del VAN cuando se modifica el valor de una o más variables, se determine la variación máxima que puede resistir el valor de una variable relevante para que el proyecto siga siendo económicamente rentable, es decir, determinar el punto límite para que se obtenga únicamente la rentabilidad deseada después de recuperada la inversión.

Ambos métodos muestran el grado de variabilidad que pueden exhibir la proyección del flujo de caja. Esto permite identificar cuáles son las variables más críticas y los puntos más débiles sobre los que se debe concentrar la búsqueda de más información para determinar las posibilidades de que se alcancen esos puntos críticos.

Las variables consideradas para el análisis de sensibilidad del proyecto fueron:

- ✓ Precio del producto de agua tratada.
- ✓ Precio de la materia prima.
- ✓ Caudal de producción de agua tratada.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada una de estas variables.



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 306 de 310	

Tabla 14.17. Variación del Precio de Producto Agua Tratada.

Porcentaje de variación	Precio [U\$/m ³]	VAN [U\$]	TIR [%]
-10	10,35	\$ -4.065.338,78	1,00%
-7,5	10,6375	\$ -2.399.455,97	10,21%
-5	10,925	\$ -733.573,16	17,22%
-2,5	11,2125	\$ 932.309,65	23,35%
0	11,5	\$ 2.598.192,47	28,99%
2,5	11,7875	\$ 4.264.075,28	34,35%
5	12,075	\$ 5.929.958,09	39,53%
7,5	12,3625	\$ 7.595.840,90	44,60%
10	12,65	\$ 9.261.723,72	49,61%

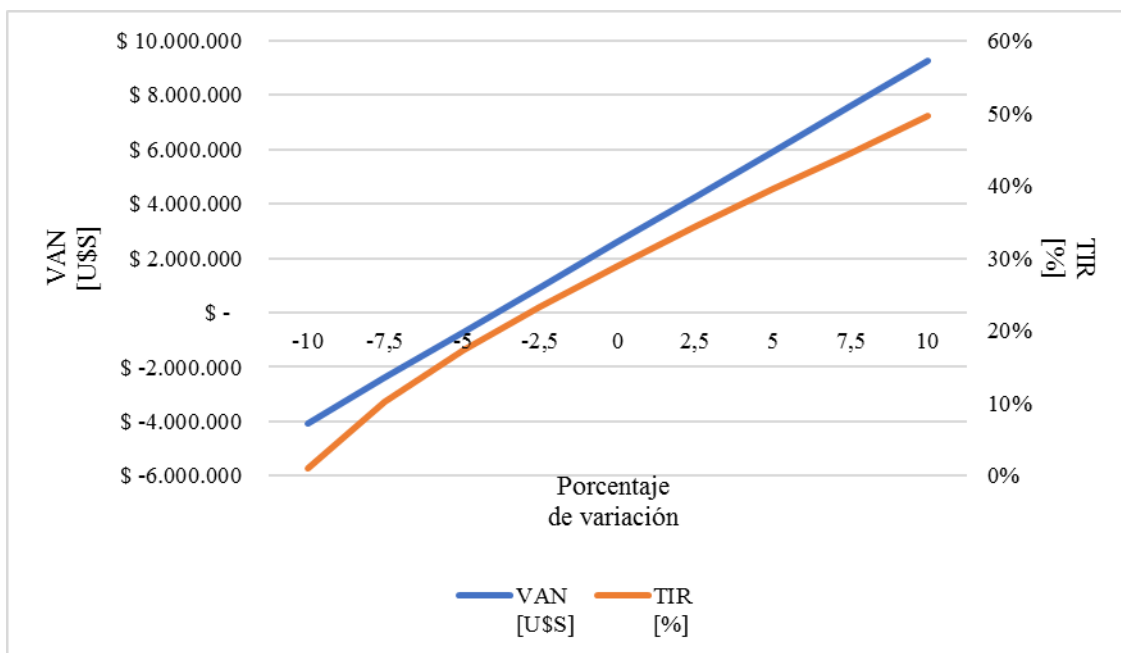


Gráfico 14.3. Análisis de sensibilidad para la variación del Precio de Producto Agua Tratada.



 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 307 de 310	

Tabla 14.18. Variación del Precio de la Materia Prima.

Porcentaje de variación	Costo Materia Prima [U\$S/año]	VAN [U\$S]	TIR [%]
-10	15450750	\$ 8.264.760,91	47,47%
-7,5	15879937,5	\$ 6.848.118,80	42,86%
-5	16309125	\$ 5.431.476,69	38,27%
-2,5	16738312,5	\$ 4.014.834,58	33,66%
0	17167500	\$ 2.598.192,47	28,99%
2,5	17596687,5	\$ 1.181.550,36	24,18%
5	18025875	\$ -235.091,75	19,14%
7,5	18455062,5	\$ -1.651.733,87	13,68%
10	18884250	\$ -3.068.375,98	7,46%

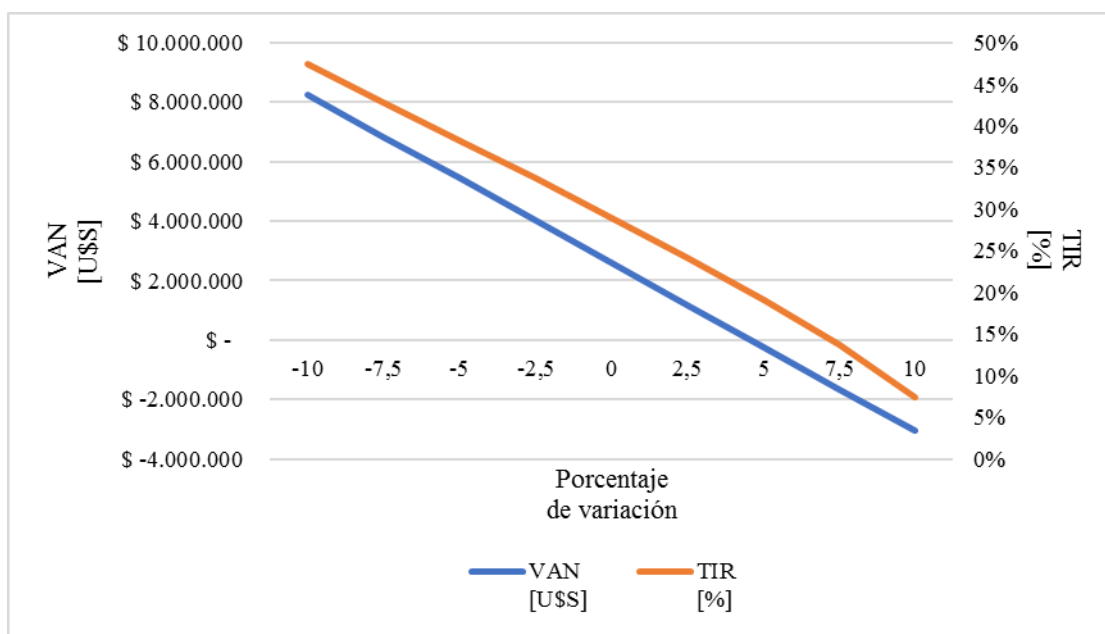


Gráfico 14.4. Análisis de sensibilidad para variación del Precio de la Materia Prima.


 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN		PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback			Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 308 de 310	

Tabla 14.19. Variación del Caudal de Agua Producida.

Porcentaje de variación	Producción Anual [m3/año]	VAN [U\$S]	TIR [%]
-10	1642500	\$ -4.065.338,78	1,22%
-7,5	1688125	\$ -2.399.455,97	10,21%
-5	1733750	\$ -733.573,16	17,22%
-2,5	1779375	\$ 932.309,65	23,35%
0	1825000	\$ 2.598.192,47	28,99%
2,5	1870625	\$ 4.264.075,28	34,35%
5	1916250	\$ 5.929.958,09	39,53%
7,5	1961875	\$ 7.595.840,90	44,60%
10	2007500	\$ 9.261.723,72	49,61%

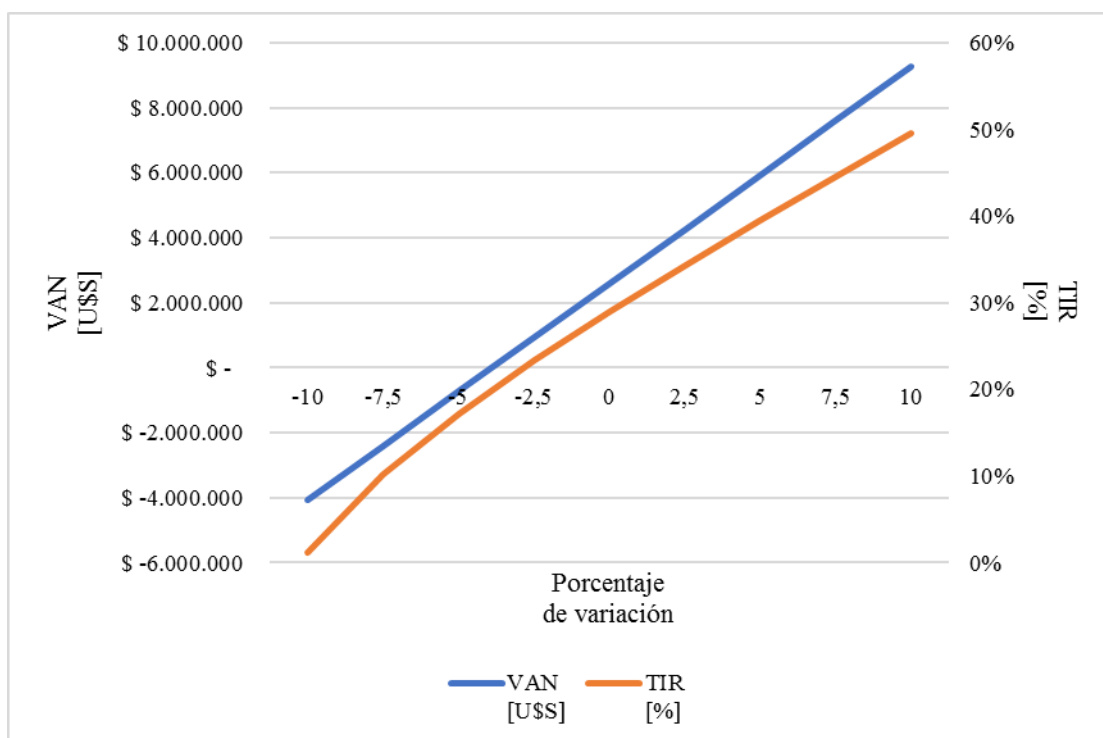


Gráfico 14.5. Análisis de sensibilidad para la Variación del Caudal de Agua Producida.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL NEUQUEN	PROYECTO FINAL INGENIERIA QUIMICA	<u>Integrantes:</u> Cerda, Candela Jazmín (candela.j.cerda@gmail.com) Quevedo, Sol Agustina (solagustinaq@gmail.com)	
Tratamiento de Agua de Flowback		Año de cursada: 2018	
<u>Profesor:</u> Spesot, Horacio	<u>JTP:</u> Krumrick, Ezequiel	<u>Ayudante:</u> Silva, Cristian	Página 309 de 310

BIBLIOGRAFÍA

- Sapag Chain, N. (2011). *Proyectos de Inversión. Formulación y Evaluación*. Chile: Pearson. Segunda Edición.