

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

**“DISEÑO DE UNA UNIDAD DE FILTRACIÓN DE AGUA DE
FORMACIÓN DE POZOS PETROLEROS”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**JULIO SANTIAGO MEDINA ROSERO
GABRIEL ALEJANDRO MIRANDA ALMEIDA**

DIRECTOR DE TESIS: ING. MIGUEL VILLACRÉS

QUITO, JUNIO 2007

DECLARACIÓN

Nosotros, JULIO SANTIAGO MEDINA ROSERO y GABRIEL ALEJANDRO MIRANDA ALMEIDA declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

JULIO S. MEDINA ROSERO

GABRIEL A. MIRANDA ALMEIDA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores JULIO SANTIAGO MEDINA ROSERO Y GABRIEL ALEJANDRO MIRANDA ALMEIDA, bajo mi supervisión.

Ing. Miguel Villacrés

DEDICATORIA

Dedicado a Raúl Medina Vallejo, mi padre, quien en vida fue ejemplo de honestidad y dedicación en todos los aspectos de su vida.

Santiago

“La cosa está en lo improbable, en lo difícil, en lo imposible.

La cosa está allí mismo, donde no debiera estar: un paso más allá que el largo de las manos.”

(Silvio Rodríguez D.)

Gabriel

AGRADECIMIENTOS

Expresamos un sincero agradecimiento a Raúl Medina Rosero, quien fue el promotor del proyecto.

Asimismo, queremos agradecer a nuestros padres, quienes nos brindaron todo su apoyo durante el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Miguel Villacrés puesto que, bajo su acertada dirección, se pudieron alcanzar los objetivos propuestos.

De igual manera, expresamos nuestro agradecimiento a los ingenieros Jaime Vargas y Carlos Valladares, por su colaboración en la revisión del documento en el área que le compete a cada uno, respectivamente.

Gabriel y Santiago

CONTENIDO

RESUMEN	9
PRESENTACIÓN	II
GENERALIDADES.....	III

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE FILTRADO DE AGUA DE FORMACIÓN Y ESPECIFICACIONES GENERALES DEL EQUIPO

INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Agua de formación.....	3
1.1.1. Usos del agua de formación filtrada.....	4
1.2. Separación de Sólidos en Suspensión.....	6
1.2.1. Dispositivos de separación	6
1.2.2. Hidrociclones	7
1.2.3. Proceso y elementos de filtración.....	15
1.3. Selección de bombas	19
1.3.1. Bombas	20
1.4. Especificaciones Generales del Equipo	26
1.4.1. Características geométricas del equipo.....	27
1.4.2. Características físicas del equipo.....	27
1.4.3. Parámetros de las partículas del agua de formación	27

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DEL LÍQUIDO DE TRABAJO

ESTUDIO FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA DE FORMACIÓN

INTRODUCCIÓN	31
2.1. Análisis cuantitativo del agua de formación	33
2.1.1. Depósitos de sólidos en el agua de formación	33
2.1.2. Significado de los constituyentes del agua de formación y propiedades.....	34
2.2. La turbidez.....	39
2.2.1. Generalidades	39
2.2.2. Pasos para la medición de turbidez	40
2.2.3. Interferencias.....	42
2.3. Incrustaciones formadas por el agua de formación	42
2.4. Características microbiológicas del agua de formación.....	45
2.4.1. Microorganismos encontrados en el agua de formación	46
2.5. Efectos de los elementos disueltos en el agua de formación	51
2.5.1. Corrosión	51
2.5.1.1. Efectos de la corrosión	51
2.5.1.2. Formas de corrosión.....	53

2.5.1.3. Métodos de control de la corrosión.....	54
2.5.2. Desgaste.....	55
2.5.2.1. Tipos de desgaste	55

CAPÍTULO 3
ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS
TIPOS DE FILTROS Y SISTEMAS ANÁLOGOS

INTRODUCCIÓN	57
3.1. Disposición de los tanques de filtrado	58
3.1.1. Planteamiento de las configuraciones del sistema de filtrado.....	58
3.1.2. Selección de alternativas	60
3.2. Filtros	62
3.2.1. Medios filtrantes	63
3.2.2. Planteamiento de alternativas	64
3.2.3. Criterios de selección de las alternativas de filtrado	72
3.2.4. Parámetros de selección.....	73
3.2.5. Evaluación de las alternativas	74
3.2.6. Descripción de los filtros de cartucho	76

CAPÍTULO 4
DISEÑO DEL SISTEMA DE FILTRADO

INTRODUCCIÓN	81
4.1. Selección del hidrociclón.....	82
4.2. Selección del filtro.....	85
4.2.1. Consideraciones físicas.....	85
4.2.2. Tipo de elemento filtrante.....	86
4.2.3. Carcasa.....	87
4.3. Tubería.....	87

CAPÍTULO 5
DISEÑO DEL SISTEMA DE IMPULSIÓN

INTRODUCCIÓN	89
5.1. Selección de la bomba	89
5.1.1. Cálculos de pérdidas	89
5.1.2. Cálculo de la potencia hidráulica.....	93
5.1.3. Cálculo de la potencia al eje	93
5.2. Selección de alternativas de la bomba a utilizarse para impulsar el agua de formación hacia el sistema de filtrado	93
5.2.1. Planteamiento de alternativas	94
5.2.2. Parámetros a evaluarse para la selección de la bomba impulsora ..	96
5.2.3. Evaluación y selección de la bomba	96
5.3. Selección de Alternativas del motor de la bomba centrífuga.	97

5.3.1. Planteamiento de Alternativas	97
5.3.2. Parámetros a evaluarse para la selección del motor de la bomba	99
5.3.3. Evaluación y selección de alternativas	100
5.3.4. Presentación de la alternativa seleccionada	101

CAPÍTULO 6

PROCESO DE SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRADO

INTRODUCCIÓN	102
6.1. Estructura	102
6.1.1. Cálculo de esfuerzos en la estructura y factor de seguridad.....	102
6.1.2. Cálculo del centro de gravedad.....	107
6.1.3. Cálculo del factor de seguridad de los pernos de sujeción	112
6.2. Procedimientos de soldadura	114
6.2.1. Elaboración de los procedimientos de soldadura	115
6.2.2. Verificación de los cordones de soldadura empleados en la calificación del soldador	120
6.2.3. Presentación de WPS.....	133
6.3. Especificaciones del procedimiento de soldadura (wps)	134
6.3.1. Unión elementos marcos horizontales. H1 y H2.....	135
6.3.2. Unión marcos horizontales MH por medio de elementos verticales V1 ...	139
6.3.3. Elaboración de la plataforma de soporte PS1	146
6.3.4. Acople estructura PRL1 con la plataforma de soporte PS1	149
6.3.5. Colocación de elementos de refuerzo R1 en la estructura ES1.	153
6.3.6. Elaboración elementos de soporte hidrociclón	170
6.3.7. Junta plancha retención inferior.....	172
6.3.8. Junta de unión marcos inferiores	176
MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN	179
6.4. Bastidor - Estructura metálica	179
6.4.1. Elementos necesarios para la construcción del bastidor.....	179
6.4.2. Construcción de la estructura metálica.....	180
6.4.3. Instalación de los elementos del sistema de filtrado e impulsión	185
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN	188
6.5. Mantenimiento de los Componentes de la Unidad de Filtración.....	188
6.5.1. Mantenimiento a la estructura metálica	188
6.5.2. Mantenimiento de tuberías y elementos de acople	189
6.5.3. Mantenimiento del hidrociclón	190
6.5.4. Mantenimiento del tanque de filtros	190
6.5.5. Mantenimiento de la bomba centrífuga y el motor.....	190
6.5.6. Costos asociados con el mantenimiento del equipo	191
DESGLOSE DE COSTOS DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN.....	192

6.6. Costos de fabricación de la unidad de filtración	192
---	-----

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones.....	194
7.2. Recomendaciones	196

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA	198
--------------------	-----

ANEXOS

1. ANÁLISIS DEL AGUA DE FORMACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.1. Resultados agua de formación.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2. Resultados agua de río	¡Error! Marcador no definido.
2. FILTROS	¡Error! Marcador no definido.
2.1. Filtros POLYMATE	¡Error! Marcador no definido.
2.2. Filtros FULFLO ECOBOND	¡Error! Marcador no definido.
2.3. Tanque de filtros FULFLO	¡Error! Marcador no definido.
2.4. Filtros US FILTER.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5. Filtros DONALDSON.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6. Filtros PALL.....	¡Error! Marcador no definido.
3. HIDROCICLONES	¡Error! Marcador no definido.
3.1. Hidrociclones US FILTER.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2. Hidrociclones FLOATEX.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3. Hidrociclones KREBS.....	¡Error! Marcador no definido.
3.4. Hidrociclón VORTEX VENTURE	¡Error! Marcador no definido.
4. BOMBAS	¡Error! Marcador no definido.
4.1. Curvas características.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2. Manual Bombas Briggs Stratton	¡Error! Marcador no definido.
5. PROFORMAS	¡Error! Marcador no definido.
5.1. Acero Comercial Ecuatoriano S.A	¡Error! Marcador no definido.
5.2. Aceros Emanuel	¡Error! Marcador no definido.
5.3. Ivan Bohman	¡Error! Marcador no definido.
5.4. Maquinarias Enriquez.....	¡Error! Marcador no definido.
5.5. La llave	¡Error! Marcador no definido.
5.6. Israriego – Hidroplastro.....	¡Error! Marcador no definido.
5.7. IDIMA	¡Error! Marcador no definido.
6. TRANSPORTE	¡Error! Marcador no definido.
6.1. Características camiones.....	¡Error! Marcador no definido.
7. REFERENCIAS NORMA AWS 1.1	¡Error! Marcador no definido.
7.1. Tabla 3.1 Pág. 62	¡Error! Marcador no definido.
7.2. Tabla 3.2 Pág. 65	¡Error! Marcador no definido.
7.3. Tabla 3.3 Pág. 67	¡Error! Marcador no definido.

7.4. Tabla 3.4 Pág. 67	¡Error! Marcador no definido.
7.5. Tabla 3.6 Pág. 68	¡Error! Marcador no definido.
7.6. Tabla 3.7 Pág. 69	¡Error! Marcador no definido.
7.7. Figura 3.3 Pág. 73	¡Error! Marcador no definido.
7.8. Tabla 4.2 Pág. 131	¡Error! Marcador no definido.
7.9. Tabla 4.3 Pág. 133	¡Error! Marcador no definido.
7.10. Tabla 4.9 Pág. 140	¡Error! Marcador no definido.
7.11. Tabla 4.10 Pág. 141	¡Error! Marcador no definido.
7.12. Tabla 6.1 Pág. 218	¡Error! Marcador no definido.
7.13. Figura 6.6 Pág. 231	¡Error! Marcador no definido.
7.14. Figura 6.9 Pág. 238	¡Error! Marcador no definido.
7.15. Figura 6.10 Pág. 239.....	¡Error! Marcador no definido.
8. PLANOS DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN....	¡Error! Marcador no definido.
8.1. Plano 3.2245 - 001	
8.2. Plano 3.2245 - 101	
8.3. Plano 3.2245 - 102	
8.4. Plano 3.2245 - 103	

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Propiedades del agua de formación.....	29
Tabla 2. Características físico-químicas del agua de formación	34
Tabla 3. Factores de conversión entre unidades de turbidez.	42
Tabla 4. Solubilidades a 25°C	44
Tabla 5. Evaluación de parámetros de selección de alternativas de configuración del sistema de filtrado.	62
Tabla 6. Cuadro comparativo de las características técnicas de los diferentes tipos de filtros	72
Tabla 7. Evaluación de los parámetros de selección de alternativas de filtros	75
Tabla 8. Dimensiones nominales de los cartuchos.	78
Tabla 9. Dimensiones de los filtros Poly Mate	79
Tabla 10. Bombas. Clasificación y características.	94
Tabla 11. Parámetros de selección de la bomba	97
Tabla 12. Parámetros de selección del motor	100
Tabla 13. Capacidad de los elementos de la unidad de filtración	108
Tabla 14. Pesos de los elementos de los sistemas de impulsión y filtrado ...	108
Tabla 14. Clasificación de los ensayos no destructivos	121
Tabla 15. Tipo de discontinuidades	122
Tabla 16. Clasificación de los métodos de tintas penetrantes	124
Tabla 17. Características de la materia prima	180
Tabla 18. Componentes de la estructura	181
Tabla 19. Etapas de ensamblaje de la estructura metálica	182
Tabla 20. Costos de mantenimiento	191
Tabla 20. Costos de los constituyentes de la unidad de filtración	193

FIGURAS

Figura 1. Partes de un hidrociclón.....	8
Figura 2. Descripción de las trayectorias de los asentamientos de artículos (pesado y liviano)	9
Figura 3. Secciones de un filtro ampliado 300X	15
Figura 4. Filtros de cartucho de 10", 20", 30" y 40" de longitud.....	16
Figura 5. Configuración de filtros de cartucho.....	17
Figura 6. Nano fibra utilizada en filtros de ultra-red y fibro-red.....	19
Figura 7. La celulosa común tiene espacios de más de 60 micras entre las fibras, permitiendo que el polvo se acumule más profundamente.	19
Figura 8. Términos usados en bombeo, para las columnas	25
Figura 9. Filtros dispuestos en serie.....	58

Figura 10. Filtro de cartucho seguido por un filtro disco	59
Figura 11. Sistema de filtrado conformado por un hidrociclón seguido por un filtro.	59
Figura 12. Filtros de cartucho en diferentes tamaños y formas.....	64
Figura 13. Esquema de un filtro de cartucho.....	65
Figura 14. Ejemplo de filtro automático de circulación continua. (ODIS).....	66
Figura 15. Esquema de un filtro automático de circulación continua.....	66
Figura 16. Ejemplo de filtro de disco (ODIS)	67
Figura 17. Esquema de filtro de disco	68
Figura 18. Ejemplos de filtros de pantalla	68
Figura 19. Esquema de un filtro de pantalla	69
Figura 20. Filtro hidráulico ODIS Serie 850	69
Figura 21. Ejemplos de filtros de grava/arena	70
Figura 22. Esquema de un filtro de grava/arena	71
Figura 24. Filtros de cartucho poly mate	79
Figura 25. Tanque de presión porta cartuchos Fulflo	80
Figura 26. Esquema de funcionamiento de un hidrociclón desarenador.....	83
Figura 27. Esquemas de entrada de fluido al vórtice de hidrociclones.....	84
Figura 28. Esquema del sistema de impulsión	89
Figura 29. Esquema simplificado de la estructura.....	109
Figura 30. Esquema simplificado de la estructura.....	110
Figura 31. Variables para el planteamiento de las ecuaciones de equilibrio ..	110
Figura 32. Ubicación del centro de gravedad en el plano horizontal	111
Figura 33. Unidad de filtración girada 90° apoyada sobre el suelo	112
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre del tanque de filtros simplificado.	113
Figura 35. Posiciones de soldadura a filete para calificación de soldador.	118
Figura 36. Posiciones de soldadura a tope para calificación de soldador.	119
Figura 37. Probeta para calificación de soldador. Junta de filete	119
Figura 38. Probeta para calificación de soldador. Junta a tope.....	120

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Caída de presión vs. Rango de flujo del líquido (cartucho 10"). Partículas de 0.5 a 20 micras.	17
Gráfica 3. Caída de presión vs. Rango de flujo del líquido (juego de caruchos)	18
Gráfica 4. Gráfica de características compuestas para una bomba centrífuga típica.	21
Gráfica 5. Gráfica simultánea de curva característica de una instalación y curva característica de una bomba	22
Gráfica 6. Histograma de la distribución de tamaños de las partículas suspendidas en el agua de formación.	28
Gráfica 7. Histograma de porcentajes acumulados de la distribución del tamaño de las partículas en el agua de formación.	29
Gráfica 8. Capacidad de separación de un hidrociclón vs. Tamaño de partículas.	83
Gráfica 9. Curvas de comportamiento de hidrociclones de diferentes diámetros ..	91
Gráfica 10. Cargas muertas que actúan sobre la estructura.	103
Gráfica 11. Perfiles asignados a los elementos de la estructura	104
Gráfica 12. Propiedades del área transversal del perfil cuadrado de 75 x 75 x 3	105
Gráfica 13. Diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante, momento flector y deflexión del elemento más crítico de la estructura.	106

RESUMEN

El agua de formación es un producto de la explotación petrolera que se extrae junto con el crudo, es reutilizada en ciertos casos para preparar geles, lodos y cementos que se emplean en procesos de explotación. De otra forma, es utilizada para mantener la presión de producción de una formación rocosa, por medio de procesos de inyección.

Es necesario filtrar el agua, para eliminar sólidos en suspensión que no se han sedimentado en los depósitos.

Para realizar procesos de separación de sólidos en suspensión existen varios procesos, entre los que se encuentran: separadores centrífugos, hidrociclones, filtros de membrana, métodos químicos.

De los cuatro tipos citados anteriormente, los hidrociclones y los filtros de membrana son las alternativas más eficientes y rentables.

Todo el proceso de separación que se produce en el interior del hidrociclón ocurre únicamente a causa de su geometría, puesto que este elemento no presenta partes móviles.

Los filtros de membrana delgada retienen las partículas sólidas en su estructura, mientras que permiten el paso del fluido. Este efecto se produce debido a que la estructura del elemento filtrante es en realidad una malla cuyos espacios intersticiales tienen un tamaño calibrado. En realidad los procesos de filtrado por malla delgada son muy similares a la osmosis celular.

El equipo diseñado tiene la capacidad de filtrar agua de formación a una altura de entrada de -3 a 15 m y de 15 a 25 m de salida, con una turbidez de entrada de 38 a 60 NTU y de 5 a 30 NTU a la salida.

El agua de formación en su composición presenta una gran cantidad de sustancias disueltas y en suspensión.

La turbidez es la propiedad óptica del agua que causa la dispersión y absorción de los rayos de luz en el agua. Este fenómeno puede ser causado por partículas suspendidas de gases, líquidos y sólidos. La eliminación de la turbiedad del agua puede darse por filtración, coagulación o asentamiento.

La turbidez se mide actualmente en NTU (Unidades nefelométricas de turbidez). Un NTU equivale a 7,5 ppm de SiO₂ (Arena).

Para la disposición de los elementos de filtrado existe la opción de un sistema constituido por un hidrociclón seguido por un tanque de filtros, esta ha sido implementada en el diseño del equipo para obtener mayores beneficios de un sistema de filtrado por etapas.

Para la selección de los medios filtrantes, y considerando parámetros como costo, disponibilidad, rendimiento, tamaño y mantenimiento se seleccionaron los filtros de cartucho de polipropileno.

El hidrociclón seleccionado es el modelo VV – ST – 5 de la casa Vortex Ventures, construido en polipropileno, opera a presiones de 40 a 50 psi, con un caudal de 200 gpm y presenta una capacidad de separación de partículas de hasta 15 μm , con un rendimiento del 90%.

La carcasa seleccionada es la FULFLO S de acero inoxidable 316, con capacidad de soportar hasta 15 filtros. Los filtros que se emplearán son los FULFLO ECO BOND de 40 in de longitud con una capacidad de filtrado de hasta 10 μm , con un rendimiento del 99, 98%.

La tubería del sistema de filtrado será constituida por tubo de PVC de 4 in de diámetro, con una presión de trabajo máxima de 150 psi, lo cual da al sistema un factor de seguridad de 3 unidades.

La bomba seleccionada es una bomba centrífuga de rodete abierto, impulsada por un motor de combustión interna ciclo Otto marca Briggs Stratton 4"x4", con motor de 6,5 HP, con un caudal máximo de 246 gpm y una altura de presión de 32 m (45 psi). La bomba presenta una cabeza positiva neta de succión de hasta 3 m.

La estructura metálica bastidor soporta únicamente cargas muertas, (el peso total de los elementos que soporta es de 416 Kg, durante la operación del equipo) por lo que fue necesario realizar el diseño estático de los elementos de la estructura basados en el análisis de esfuerzos que cada uno de los elementos soportará.

Además se incluyen un manual detallado de construcción y un manual completo de mantenimiento del sistema de filtración.

PRESENTACIÓN

El proyecto presentado a continuación describe los pasos seguidos durante la etapa de diseño de una unidad de filtración de agua de formación de pozos petroleros.

El agua de formación producida por un pozo petrolero es uno de los subproductos obtenidos de una formación rocosa subterránea.

La explotación de crudo en un campo petrolero implica la realización de procesos de exploración, perforación y producción mientras el pozo se mantiene activo y en operación.

Los procesos de producción de petróleo son muy diversos y dependen directamente del tipo de formación existente. Estos procesos permiten realizar la extracción de crudo de la formación, el cual presenta además gas, agua y otros productos minerales.

Estos elementos adicionales obtenidos deben ser separados por medio de equipos destinados para el efecto que se localizan en superficie (separadores bifásicos, trifásicos)

Es precisamente luego de estos procesos de separación que se obtiene el agua de formación. Este residuo de la producción de pozos es almacenado en tanques (tanques de fractura) o en piscinas construidas exclusivamente.

A pesar de que el agua de formación se considera un producto de desecho que en efecto, al final del proceso de producción del pozo es descartada de acuerdo protocolos de cuidado ambiental bien establecidos, es empleada en procesos de reinyección. Estos procesos permiten el mantenimiento de la presión interna del pozo mediante la inyección de un fluido presurizado, que en general se trata de agua de formación, o en su defecto de agua obtenida de alguna fuente cercana (ríos, en el caso de la explotación petrolera en el oriente ecuatoriano).

El agua de reinyección debe presentar una calidad alta (concentración de sólidos en suspensión alrededor de 30 ppm) para evitar efectos desfavorables para la formación (Taponamiento de porosidades, sedimentación de sólidos). Es por este motivo que se hace absolutamente necesario eliminar los sólidos en suspensión del agua de formación o de cualquier agua que será reinyectada a una formación petrolera.

Existen además otras aplicaciones en las que se requiere emplear agua pura, por ejemplo, la preparación de lodos, geles, cementos y soluciones ácidas para procesos de fractura.

Actualmente se emplean equipos de filtración constituidos únicamente por filtros de pared delgada, los cuales en realidad no presentan una eficiencia de retención muy alta, si se toman en cuenta los costos de mantenimiento que representa su operación.

La presente investigación incluye en el sistema de filtrado un hidrociclón, empleado ampliamente para separar sustancias de diferentes densidades. Dicho elemento tiene una geometría muy sencilla, además que no presenta partes móviles o componentes que deban ser sustituidos luego de cierto tiempo. Su principio de funcionamiento es muy sencillo, sin embargo, los criterios matemáticos de análisis un poco más elaborados no serán tratados en este proyecto, puesto que no se diseñó dicho elemento, sino únicamente se lo ha seleccionado.

Adicionalmente al hidrociclón se ha optado por incluir un tanque de filtros de cartucho de polipropileno, lo cual asegurará la calidad del agua, que saldrá con una concentración de 30 ppm de partículas en suspensión de hasta 10 μm . (Las partículas de mayor tamaño se eliminan completamente, mientras que las de tamaño más reducido al presentarse en menor cantidad no causan problemas durante los procesos de reinyección. Ver Capítulo 1).

Para desplazar el agua de formación a través del sistema de filtrado, se ha seleccionado una bomba centrífuga de rodete abierto, impulsada por un motor estacionario de combustión interna de 6,5 HP.

Estos elementos serán acoplados mediante tubería de 4 in de diámetro, construida en PVC. Se ha seleccionado el tipo de tubería de tal forma que resista presiones de hasta 150 psi, para mantener un factor de seguridad de 2.

La entrada y salida del agua de formación se realiza mediante mangueras acopladas mediante tuercas con rosca NPT de 4 in de diámetro, para lo cual se ha dispuesto la colocación de neoplos de acero inoxidable que pueda conjugarse con la rosca de las tuercas de las mangueras.

Para el soporte de los elementos de los sistemas de filtrado y de impulsión del agua de formación se ha diseñado una estructura muy sencilla pero muy versátil, que no solamente soporta los componentes del equipo, sino que además proporciona protección a los mismos. Además se han incluido facilidades a la estructura para su transporte, tanto empleando un montacargas como empleando una grúa (por medio de guayas de soporte).

Para el cálculo estructural del bastidor se empleó el programa informático de simulación por elementos finitos SAP 2000 y la elaboración de los procedimientos de soldadura se realizó basándose en la norma AWS D 1.1 publicada en el año 2002.

Adicionalmente se tomaron en cuenta aspectos como el desgaste producido por la abrasión y la corrosión para la selección de los componentes del equipo, realizando un estudio previo de la composición del agua de formación en el Capítulo 2.

GENERALIDADES

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar una unidad de filtración de agua de formación de pozos petroleros que genere agua con un nivel de pureza óptimo requerido en las aplicaciones del sitio, a un costo de operación bajo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una unidad de filtración de altas prestaciones y de bajo costo.
- Aplicar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en la Carrera de Ingeniería Mecánica
- Disminuir costos operativos en la filtración de agua de formación en la actividad petrolera, mediante una unidad de filtración de alto rendimiento.
- Diseñar un sistema de bombeo que permita el manejo óptimo del agua de formación, aprovechando al máximo la energía disponible.
- Especificar mediante los planos constructivos y el manual de construcción, los diferentes componentes del equipo diseñado, permitiendo su fácil construcción y operación.
- Presentar un presupuesto que permita la comparación de costos entre la construcción del equipo diseñado y la adquisición de equipos análogos disponibles en el mercado.

ALCANCE

El equipo fruto del presente diseño será destinado precisamente para reducir la turbiedad del agua de formación rocosa y de río de entre 150 NTU a un rango aceptable de 20 a 30 NTU.

Cabe aclarar que los equipos de filtración de agua existen en la actualidad en la industria petrolera, sin embargo, al ser un procedimiento relativamente sencillo y que no requiere de técnicas operativas muy complejas, no es prioritario en las operaciones de cada pozo, e inclusive la mayoría de las compañías contratistas de servicios, no disponen de una división que se especialice en el filtrado de agua.

Desde un punto de vista global los costos que representa el filtrado de agua no influyen en las decisiones gerenciales puesto que es muy inferior a las utilidades obtenidas por la producción del pozo, pero los costos asociados con la operación de equipos ineficientes fabricados empleando conocimientos empíricos o por el alquiler de los mismos puede reducirse considerablemente si el diseño de los mismos equipos se realizan empleando sólidos conocimientos técnicos.

JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de tesis surge a partir de la iniciativa de formar una empresa que preste el servicio de filtración de agua a empresas petroleras que operan en el Ecuador.

Debido a varios factores, el proceso de filtración de agua se torna complicado o en otros casos ineficiente. Uno de los factores consiste en que se emplea maquinaria obsoleta o diseños empíricos contruidos por obreros de las mismas compañías petroleras.

Por tanto, se pretende incluir todos los conocimientos necesarios para diseñar y construir un equipo de altas prestaciones técnicas, considerando además factores económicos que son limitantes, tanto para su construcción como para su operación.

Un punto importante es que las características del equipo permitirían hacerlo versátil, pudiéndose emplear en otras aplicaciones tales como la filtración de agua de río para su utilización segura en ciertas regiones del país que no cuentan con un suministro permanente de agua.

Una de las dificultades que surgen al momento de hacer producir un pozo, es la necesidad de disponer de agua razonablemente pura que se empleará en determinadas actividades en el proceso de producción de petróleo. El agua se encuentra en forma limitada y no presenta las características adecuadas para su utilización inmediata, sino que se hace necesario darle cierto tratamiento para manejar un nivel de pureza apropiado para que sea manipulada por los equipos y empleada en ciertos procesos químicos.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE FILTRADO DE AGUA DE FORMACIÓN Y ESPECIFICACIONES GENERALES DEL EQUIPO

INTRODUCCIÓN

A partir de la década de 1970, en el Ecuador se produce un impresionante crecimiento de la actividad petrolera que se ha mantenido en un nivel estable hasta la fecha. Varias son las compañías que han venido realizando exploración y explotación petrolera en el oriente ecuatoriano, la estatal Petroecuador, y compañías extranjeras como Halliburton, B. J., Schlumberger, Bakers & Hughes, entre otras.

Cabe establecer en este punto, que la explotación petrolera implica una serie de procedimientos y técnicas cuya complejidad depende de factores propios de cada locación, haciendo impredecibles el éxito y el fracaso de cada trabajo. En ciertos casos es necesario luchar contra las adversidades que la naturaleza impone bajo condiciones climáticas muy difíciles, en zonas inhóspitas del planeta, o incluso sobre una plataforma flotante en el mar.

Es esta versatilidad en los tipos de trabajos que se realizan en la explotación petrolera el motivo que impulsa al ingenio humano para la creación de nuevas tecnologías que solucionen cada uno de los elementos de una serie de innumerables retos que surgen con cada pozo perforado.

Una de las dificultades que surgen al momento de hacer producir un pozo, es la necesidad de disponer de agua suficientemente pura que se empleará en determinadas actividades en el proceso de producción de un pozo.

El agua, como cualquier recurso, se encuentra en forma limitada. Específicamente para el caso del presente análisis, se puede obtener agua exclusivamente de dos fuentes: formaciones rocosas subterráneas y ríos.

En ambos casos, el agua que se obtiene no presenta las características adecuadas para su utilización inmediata, sino que se hace necesario darle cierto tratamiento para manejar un nivel de pureza apropiado para que pueda ser manipulada por los equipos, y posteriormente, empleada en ciertos procesos químicos.

El equipo fruto del presente diseño será destinado precisamente para reducir la turbiedad del agua de formación rocosa y de río de entre 60 NTU a un rango aceptable de 10 a 20 NTU.

Cabe aclarar que los equipos de filtración de agua, existen en la actualidad en la industria petrolera, sin embargo, al ser un procedimiento relativamente sencillo y que no requiere de técnicas operativas muy complejas, no es prioritario en las operaciones de cada pozo. Por tanto, la mayoría de las compañías contratistas de servicios, no disponen de una división que se especialice en el filtrado de agua.

Desde un punto de vista global los costos que representa el filtrado de agua no influyen en las decisiones gerenciales puesto que es muy inferior a las utilidades obtenidas por la producción del pozo, pero los costos asociados con la operación de equipos ineficientes fabricados empleando conocimientos empíricos, o por el alquiler de los mismos, puede reducirse considerablemente si el diseño de los mismos equipos se realizan empleando sólidos conocimientos técnicos.

A continuación se realizará un breve estudio de los conocimientos asociados con una unidad de filtración, abarcando referencias de lo que es el agua de formación y sus aplicaciones, separación de sólidos en suspensión, proceso y elementos de filtración y selección de bombas.

MARCO TEÓRICO

Es necesario realizar una breve revisión de los conceptos básicos que van a ser utilizados en el presente diseño, los mismos que brindarán las alternativas a ser consideradas, y al mismo tiempo, justificarán teóricamente las opciones que serán seleccionadas.

Por tratarse del fluido de trabajo, se realizará una breve descripción del agua de formación y sus aplicaciones, la misma que será profundizada en el segundo capítulo.

1.1. AGUA DE FORMACIÓN

El agua de formación representa una porción creciente del total de fluidos producidos durante la vida de un pozo. Aunque su tratamiento no ofrece un incentivo económico directo, se invierte una considerable cantidad de tiempo, tanto de ingeniería, como de operaciones, para la modificación y el mantenimiento de los sistemas de limpieza de agua de formación, para asegurar un funcionamiento satisfactorio.

Varias empresas han dirigido recientemente sus recursos al desarrollo y mejora de sistemas de separación de agua, especialmente de aquellos en donde se consideran factores críticos el espacio, el peso y los costos de operación.

Mientras el campo petrolero madura, el volumen de agua de formación que una instalación debe procesar, incluso excede al de hidrocarburos. El agua entonces, tiende a convertirse en el fluido producido en mayor cantidad.

El tratamiento del agua de formación se puede realizar de varias maneras, usando diferentes dispositivos y métodos. Este estudio se enfocará a un método ejecutado en dos fases, diferenciadas únicamente por el tamaño de las partículas que serán retenidas en cada una. La primera fase consistirá en la separación de sólidos en suspensión de un tamaño relativamente

grande, comprendido entre 50 y 100 micras, y posterior filtración del producto de dicha separación.

Los hidrociclones han sido usados en una gran variedad de procesos por más de cien años. Son dispositivos simples y efectivos, sin embargo, todavía mal entendidos en las industrias petroleras. Idealmente se prestan a numerosas aplicaciones, permitiendo superar varias limitaciones técnicas y económicas convencionales.

Específicamente para su filtración, están disponibles varios dispositivos, como son: filtros mecánicos de barrera gruesa, filtros mecánicos de barrera delgada,

1.1.1. USOS DEL AGUA DE FORMACIÓN FILTRADA

En la actualidad existen varias industrias a nivel global que requieren la utilización de procedimientos y tecnología de punta para el correcto aprovechamiento de los recursos naturales. La industria más cercana que presenta estas características, es la industria petrolera.

La industria petrolera presenta una gama muy amplia de aplicaciones, procesos y procedimientos industriales para la exploración, extracción, producción de petróleo y conservación del medio ambiente.

El enfoque que se da al presente diseño se orienta hacia la purificación del agua de formación en superficie. Si bien es cierto que para la obtención del agua de formación, el fluido producido de un pozo petrolero tiene que ser sometido a procesos de separación (separadores bifásicos, trifásicos), estos no son de importancia para la investigación.

Sin embargo, es importante señalar la utilidad de la purificación del agua de formación y los procesos en los cuales se emplea el agua libre de arena, para puntualizar los justificativos que hacen viable tanto técnica

como económicamente el diseño de una unidad de filtración de agua de formación.

El agua empleada en procesos de producción de petróleo no es únicamente obtenida de la formación. Es necesario muchas veces utilizar agua fuentes, tales como ríos, lagos, esteros, océanos y otras fuentes de agua cercanas a las instalaciones de un pozo petrolero, dependiendo de la disponibilidad.

Existen varios enfoques bajo los cuales se pueden analizar los usos del agua de formación filtrada en la industria petrolera, sin embargo, cada una de las aplicaciones tiene implicaciones tecnológicas que requieren de un estudio muy profundo. Por esta razón, se analizarán los usos del agua filtrada en una forma ligera, puesto que la profundización de cada tema implicaría el desarrollo de ciencias verdaderamente complejas.

Agua de formación filtrada

El agua de formación filtrada es inyectada de vuelta en los reservorios en dos casos muy puntuales. El primero se trata simplemente del desecho (disposal) del agua de formación almacenada en superficie, lo cual es una necesidad debido a que el agua obtenida de la formación es un fluido de desecho que es producido conjuntamente con el petróleo inevitablemente en la mayoría de los campos, convirtiéndose en un problema, puesto que la capacidad de almacenamiento en superficie es limitada.

En el segundo caso, el agua filtrada debe ser inyectada a la formación por mantenimiento de presión de reservorio, al inyectar en un pozo alejado del pozo productor.

Agua fresca (de río) filtrada para labores de reacondicionamiento

El agua de trabajo en labores de reacondicionamiento proviene de ríos o esteros cercanos a la locación donde se encuentre el taladro de reacondicionamiento.

Esta agua debe ser filtrada para luego proceder a la preparación de los fluidos de tratamiento. Tales fluidos pueden ser salmuera, ácidos, lodos de perforación, cemento, geles para fracturamiento hidráulico, entre otros.

En cualquiera de los dos casos descritos anteriormente, no se puede permitir la inyección de fluidos dentro de la formación, los cuales posiblemente podrían contener sólidos. Estos sólidos pueden taponar las gargantas porales de la formación, restringiendo la producción o inyección de dicho reservorio.

Normalmente la filtración no es un proceso continuo a menos que el tratamiento de agua se realice por otros motivos en una planta auto sustentable (offshore). Lo usual es el filtrado de volúmenes definidos de agua para ser empleados en trabajos puntuales de reacondicionamiento

En el primer caso citado anteriormente, se utilizan adicionalmente procesos químicos a mucha mayor escala para procesar el agua de inyección. Procesos de decantación, floculación, entre otros, son utilizados además de medios mecánicos (filtración).

1.2. SEPARACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Para optimizar el proceso, y como se justificará apropiadamente en el tercer capítulo, se lo ejecutará en dos etapas, separación y filtrado, para lo cual, se implementará el uso de un dispositivo sencillo pero efectivo para la separación, un hidrociclón. Por tanto, se realizará una descripción detallada de su estructura y funcionamiento.

1.2.1. DISPOSITIVOS DE SEPARACIÓN

Existen varias opciones disponibles en lo que se refiere a la separación de sólidos en suspensión en un fluido. Se pueden enumerar las alternativas más adecuadas:

- Separadores centrífugos
- Químicos
- Hidrociclones
- Elementos filtrantes

Siendo la mejor elección, los hidrociclones, debido a su confiabilidad, eficiencia y, principalmente de acuerdo a las exigencias del sistema, a su bajo costo.

Entonces, se profundizará en una descripción detallada de dicho dispositivo.

1.2.2. HIDROCICLONES

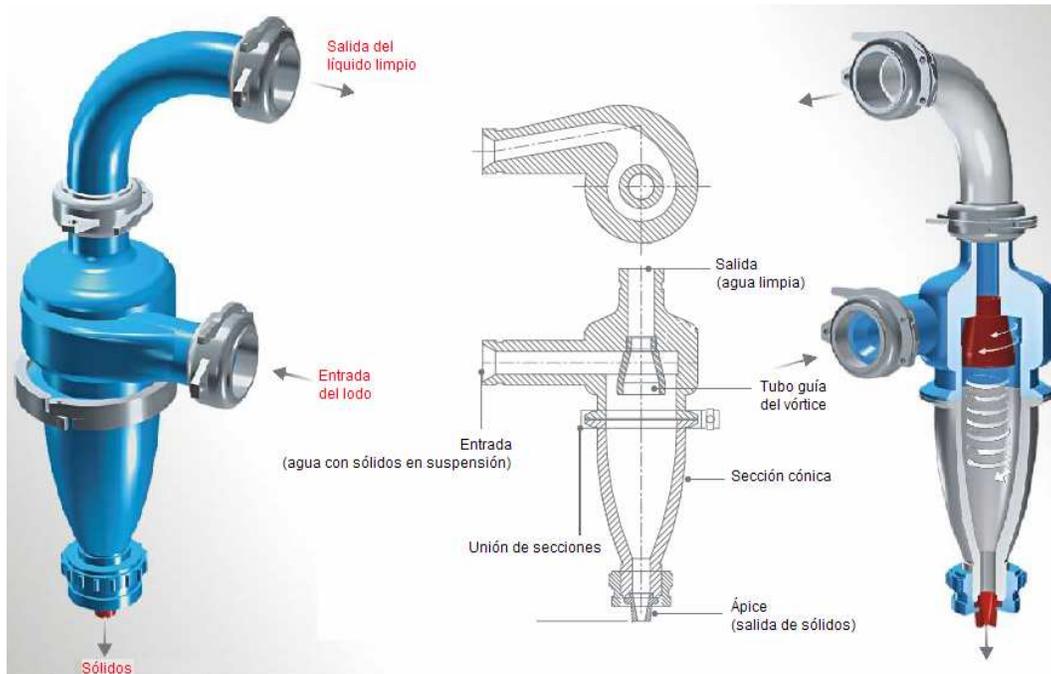
Descripción

Un hidrociclón es un dispositivo de separación continua que utiliza la energía de la presión del fluido para crear movimiento rotacional. Operan a bajas presiones. El fluido es dirigido tangencialmente dentro del dispositivo, el mismo que provoca el giro.

El movimiento de rotación genera fuerzas centrífugas que inducen a sólidos y líquidos a separarse. La fuerza centrífuga generada en un hidrociclón varía de acuerdo a su longitud, y puede alcanzar un máximo de 2000 gravedades.

Normalmente, un hidrociclón está dividido en dos partes: la sección cilíndrica, y la sección cónica. El extremo de la sección cilíndrica (tapa) es cerrada con una placa a través de la cual pasa directamente un flujo vertical montado axialmente. La alimentación se produce a través de una abertura circular conectada tangencialmente a la parte superior de la sección cilíndrica. La sección cónica, que se encuentra unida a la cilíndrica, está abierta en su base, y permite el flujo de las partículas más pesadas.

Figura 1. Partes de un hidrociclón¹



Los hidrociclones son conocidos por su capacidad de separar partículas desde 0,004 mm hasta 0,6 mm., y encuentran aplicación a través de un amplio rango de industrias tales como la minera, química y farmacéutica. Las condiciones de diseño y operación son drásticamente diferentes dependiendo del tipo de aplicación.

Debido a las altas fuerzas centrífugas en el interior del hidrociclón, una orientación vertical u horizontal de la instalación no tiene efecto en el desempeño de la separación.

Principio de operación

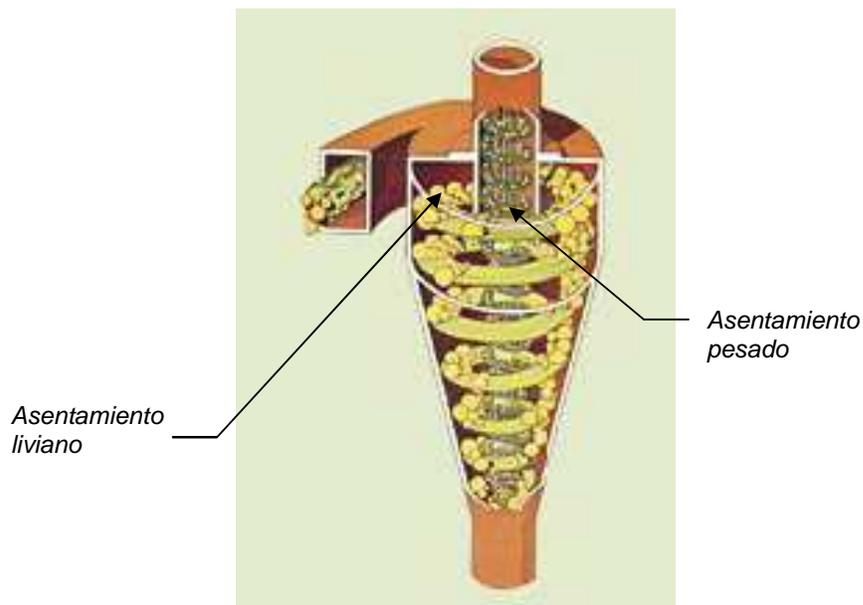
La separación sólido – líquido, o más específicamente, la separación de arena de formación, es alcanzada mediante la generación de fuerzas centrífugas mucho mayores a aquellas disponibles en equipos de separación basados en la gravedad. Un vórtice de alta velocidad con un corazón de flujo en reversa es montado desde el

¹ VORTEX VENTURES, INC., CATÁLOGO HYDROCYCLONE (2'') MODEL V V-ST-4

acceso a través de una entrada especialmente diseñada dentro de una cámara cilíndrica de remolino.

Su operación empieza alimentando el barro a baja presión a través de la entrada tangencial. El movimiento de giro producido por la alimentación tangencial causa movimiento relativo de las partículas suspendidas en el fluido, y por tanto, la separación de las partículas de acuerdo a su tamaño y gravedad específica. El movimiento de giro genera un vórtice en el hidrociclón, con una zona de baja presión a lo largo del eje vertical, donde el fluido tiene un acceso a la atmósfera en la parte superior y la base. El asentamiento más rápido y pesado de partículas se mueve hacia la pared del hidrociclón y fluye hacia abajo, mientras el asentamiento más ligero y lento de partículas va alrededor de la zona de baja presión y se mueve a lo largo del eje y hacia arriba. El resultado es un proceso típico con un tiempo de retención de 2 a 3 segundos, que brinda un simple, pero efectivo separador, sin partes móviles.

Figura 2. Descripción de las trayectorias de los asentamientos de partículas (pesado y liviano)²



² THE SEPARATION OF SOLIDS AND LIQUIDS WITH HYDROCYCLONE-BASED TECHNOLOGY FOR WATER TREATMENT AND CRUDE PROCESSING

Regulando la aceleración del torbellino y variando la geometría y toberas del hidrociclón puede ajustarse el tamaño de separación entre 10 y 500 micras.

Factores que influyen en el funcionamiento

La separación de sólidos dentro de un desarenador es predecible. El grado de separación puede ser calculado muy acertadamente si se conocen los parámetros necesarios. Los más importantes pueden ser enumerados:

- Caudal y caída de presión válidos
- Densidad y viscosidad del líquido
- Densidad, tamaño y forma de las partículas
- Concentración de sólidos

La separación dentro de un desarenador está definida por una colección empírica de relaciones que trabaja en combinación para predecir las fuerzas de corte generadas durante el proceso. Es necesario aplicar varios factores de corrección a estas relaciones, los mismos que se refieren a las siguientes variables geométricas, representadas en la *figura 1*:

- Longitud del cilindro
- Ángulo del cono
- Diámetro y longitud de vórtice apropiados
- Tamaño y forma de la abertura de alimentación
- Tamaño del vértice

Estas relaciones y los varios factores operacionales de corrección indican que:

- Un diámetro más pequeño del desarenador es más eficiente.
- Un desarenador más largo es más eficiente.
- Una menor apertura de alimentación y un vórtice reducido, incrementan la eficiencia de un desarenador, mientras el tamaño de la abertura inferior de la sección cónica tiene un efecto insignificante en su funcionamiento.

- Un incremento en la caída de presión, correspondiente a un incremento en el caudal, produce una mejora marginal de la eficiencia.
- Menores densidades y viscosidades de líquidos conducen a mayores eficiencias en la remoción de sólidos.
- Partículas de mayor densidad y tamaño, son más fáciles de separar, así como su cercanía a una forma esférica las hace más fáciles de recuperar.
- La concentración de sólidos no produce efectos en el desempeño a bajos niveles. Sin embargo, el incremento de la concentración reduce la eficiencia, y esto puede ser importante en aplicaciones de alta concentración tales como chorro de arena.

Separador (Figura 2)

Todos los hidrociclones se componen de cuatro secciones principales:

Entrada

La sección de entrada está comprendida por una cámara de alimentación cilíndrica que sirve para convertir el flujo de ingreso en flujo tangencial con la mínima turbulencia. Menores tamaños de entrada resultan en incrementos de la velocidad tangencial a la entrada del hidrociclón, correspondiente a un incremento de eficiencia y reducción de capacidad.

Desagüe

La sección de desagüe puede incluir una coraza cilíndrica anular que cubre totalmente el flujo central, estabilizándolo y mejorando el desempeño del hidrociclón.

El orificio de desagüe está diseñado para soportar la carga esperada, determinada por la fracción liviana contenida en la alimentación o por el caudal solicitado por el cliente.

Cono

Los ángulos y geometría del cono varían pero, esencialmente todo cumple un mismo objetivo. Mientras el fluido es empujado a lo largo del cono, acelera en las limitaciones del área de la sección transversal, desarrollando grandes fuerzas centrífugas, necesarias para la separación. Al reducir el diámetro nominal del hidrociclón, se mejora la eficiencia y se disminuye la capacidad.

Tubo de escape

La adición de un tubo de escape en un hidrociclón, incrementa el tiempo de residencia para la separación. El tamaño del tubo de escape se caracteriza por su diámetro y longitud. Diámetros pequeños, implican mayores velocidades tangenciales, grandes fuerzas centrífugas y, por tanto, mejora de la eficiencia. Después del diámetro del hidrociclón, el tubo de escape tiene el mayor impacto en la capacidad. Los desarenadores normalmente tienen tubos de escape muy cortos.

Materiales

Los desarenadores son hechos de varios materiales dependiendo del ambiente corrosivo y erosivo en los que operarán. Los materiales disponibles incluyen varios cerámicos, acero inoxidable, níquel, titanio, entre otros. Algunos materiales como el caucho, pueden ser apropiados en algunas aplicaciones, ya que son resistentes a la erosión bajo ciertas condiciones químicas a relativamente baja temperatura.

La selección de materiales ha sido determinada por los distribuidores, a medida que estos han aumentado, las opciones lo han hecho también. El recubrimiento de la superficie interna de los hidrociclones provee de una mejor resistencia a la erosión y permite su operación a altas temperaturas.

Diseño y construcción

Configuración

El diseño del hidrociclón permite la optimización de este dispositivo a un costo muy reducido. La dinámica del fluido es compleja.

Modelos empíricos

Muchos modelos empíricos han sido desarrollados, especialmente en la minería. Estos modelos cuantifican la desclasificación de las partículas y predicen las características operacionales, además son fáciles de aplicar a operaciones específicas. Los modelos empíricos utilizan las dimensiones del hidrociclón y constantes relacionadas con las características del barro para predecir la clasificación de tamaños.

Usualmente, la información recolectada de una variedad de condiciones de operación está correlacionada con expresiones empíricas. La dinámica del fluido y el movimiento de las partículas son esenciales para mejorar el desempeño del dispositivo y los modelos empíricos no son capaces de brindar tal información.

Modelos basados en la dinámica del fluido

Ya que los modelos empíricos no pueden explicar el mecanismo interno del movimiento de un fluido, los modelos basados en la física del fluido han sido solicitados. Los modelos de flujo dinámico tienen tres partes principales, el balance de masa, balance de momento y efecto de turbulencia. Estas tres partes han sido profundamente analizadas y desarrolladas, logrando un acercamiento adecuado para un diseño óptimo.

Construcción

Una amplia gama de hidrociclones son fabricados y se encuentran disponibles en el mercado. Los más comunes son dos tipos: integral en poliuretano o polímeros, y acero - elastómero, con carcasa metálica y revestimiento interior en diferentes elastómeros adecuados a la aplicación. También se construyen hidrociclones especiales para aplicaciones específicas.

El sistema de construcción modular posibilita el intercambio de piezas entre ciclones de diferentes tamaños y materiales constructivos. El conducto de alimentación de sección rectangular en forma de involuta provoca la formación laminar de la corriente, reduciendo la pérdida de carga mejorando la eficiencia del proceso. Los conductos de alimentación, descarga y rebose son de sección variable para adaptar la operación a las diferentes condiciones de trabajo y objetivos a alcanzar. El mantenimiento es simple gracias a los elementos especiales de conexión entre las diferentes partes del hidrociclón. En cada tamaño de ciclón se dispone de dos geometrías básicas: Cónica y Cilíndrica con fondo plano. La configuración cónica, convencional, se fabrica además con diferentes ángulos de cono y longitudes de la sección cilíndrica. La configuración cilíndrica, fondo plano, se emplea principalmente para la obtención de tamaños de corte gruesos, lo que la hace especialmente indicada para la clasificación en circuitos cerrados de molienda, pudiendo variarse la longitud de la parte cilíndrica.

Cuando por razones de capacidad se precisa instalar varias unidades, es necesario que la distribución del fluido de alimentación sea uniforme para que la operación de cada una de ellas sea idéntica. Esto se consigue mediante el empleo de distribuidores radiales de diseño especial, formando unidades muy compactas y simples de instalar. Las enormes posibilidades de ajuste, junto con el amplio abanico de

tamaños disponibles, permiten adaptarse fácilmente a cualquier problema específico de clasificación.

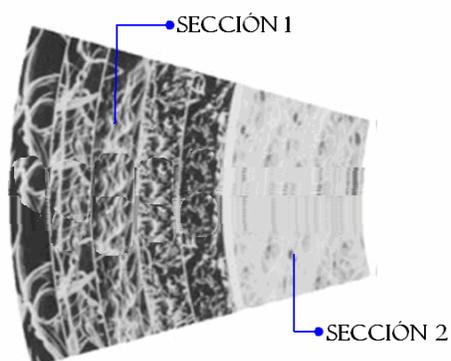
A continuación del hidrociclón se utilizarán filtros cuya selección se explicará en el tercer capítulo, el presente se refiere a la descripción del proceso de filtrado, y detalle de la estructura y comportamiento de los filtros de cartucho.

1.2.3. PROCESO Y ELEMENTOS DE FILTRACIÓN

Filtración

Un proceso de filtrado requiere varias secciones con características bien definidas para garantizar la separación de las partículas suspendidas en el líquido para el que está diseñado. Una sección interior, en la cual el diámetro del poro es constante, permite un proceso de filtración continuo. Una sección exterior, en la cual el diámetro del poro varía continuamente desde la sección interior con poros de diámetro constante, hasta 120 μm . Una continuidad absoluta, que solamente puede lograrse con un filtro con una estructura de poros arreglada, asegura la consistencia y gran calidad de filtración. Esta sección exterior provee una prefiltración efectiva para todas las partículas con un diámetro mayor al tamaño nominal.

Figura 3. Secciones de un filtro ampliado 300X ³



En el gráfico: 1. Sección exterior con una variación continua del tamaño de los poros; 2. Sección interior con diámetro constante de poros; Se puede notar el decrecimiento continuo del diámetro de la fibra en las secciones interior y exterior.

³ PROFILE® II FILTERS, BROCHURE PALL CORPORATION.

La continuidad de la sección variable de poros, su amplia gama de tamaños de poro y su profundidad, se combina para brindar una vida útil extensa.

Esta variabilidad de tamaño de poro se consigue mediante la modificación del diámetro de la fibra, mientras se mantiene una densidad y una compresibilidad uniforme.

Al mantener la compresibilidad y densidad continuas, los elementos pueden ser fabricados con una densidad menor, y por tanto, con mayor volumen de vacío, lo que implica, más poros y mayor vida útil. Además, es posible incrementar este tiempo de vida utilizando fibras más delgadas para fabricar las estructuras, aumentando a la vez, el número de poros en el interior de las mismas.

Cartucho

Un cartucho puede ser construido utilizando varios materiales tales como, polipropileno, nylon, polipropileno cargado positivamente, entre otros. Debe asegurarse el sello de los cartuchos. Los cartuchos de polipropileno positivamente cargados permiten aumentar la remoción de bacterias, virus, endotoxinas bacteriales y partículas en suspensión negativamente cargadas (la mayoría de las partículas).

El cartucho de polipropileno está disponible también con juntas elastoméricas soldadas en cada extremo. Este cartucho puede ser usado en carcazas adecuadas y debidamente selladas, por donde se espera que circule el fluido.

Figura 4. Filtros de cartucho de 10", 20", 30" y 40" de longitud.⁴



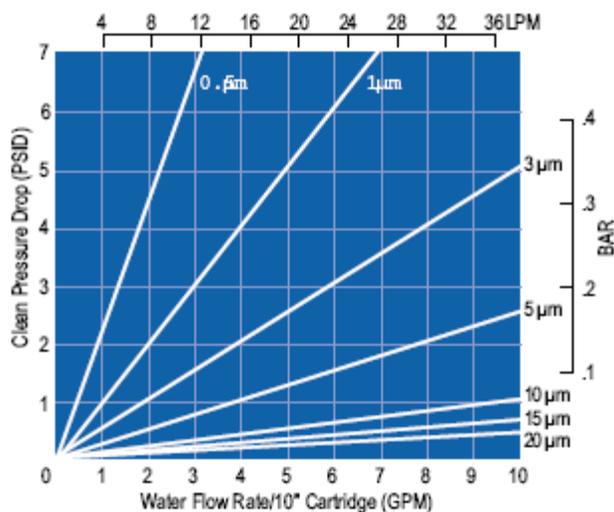
⁴ USFILTER, CARTRIDGE FILTERS, ORDERING REFERENCE

Figura 5. Configuración de filtros de cartucho.⁵

CARTRIDGE DESIGN	DESCRIPTION	CODE
 <p>Code F Style Cartridges Flat gaskets</p>	Gaskets compressed on knife edge seal of housing	F
 <p>Code 10 Style Cartridge Single open end with 1-120 internal O-Ring at open end</p>	Single O-ring located inside the cartridge	10
 <p>Code 0 Style Cartridges 2-222 O-Ring Outlet</p>	O-rings are located externally on the cartridge, other end flat	0
 <p>Code 5 Style Cartridges 2-222 O-Ring Outlet with spear assembly</p>	O-rings are located externally on the cartridge, other end spear	5
 <p>Code 7 Style Cartridges 2-226 O-Ring locking outlet with spear assembly</p>	227 O-rings are located externally on the cartridge. The O-ring adapter locks into the housing. Spear assembly on other end	7

Gráfica 1. Caída de presión vs. Rango de flujo del líquido (cartucho 10").

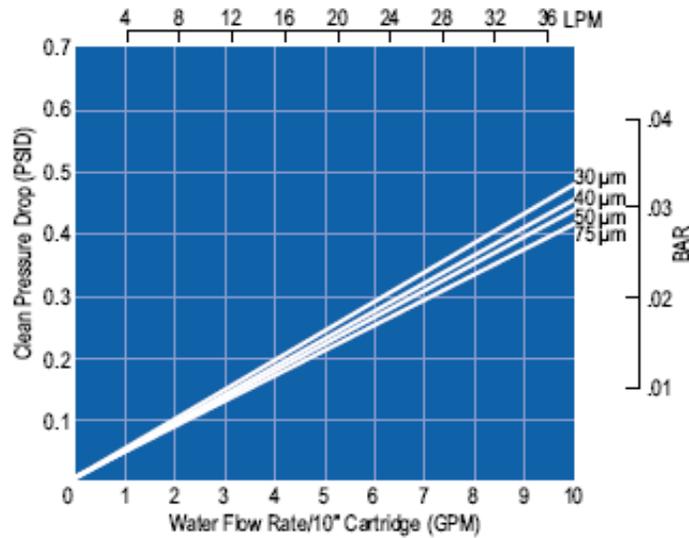
Partículas de 0.5 a 20 micras.⁶



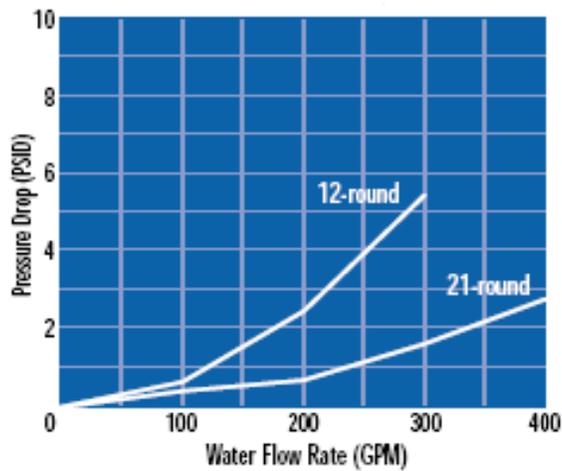
⁵ USFILTER, ACCESSORIES, ORDERING REFERENCE

⁶ CARTRIDGE SPECIFICATIONS, FLOW RATE VS. INITIAL CLEAN PRESSURE DROP, 0,5-10 MICRONS

Gráfica 2. Caída de presión vs. Rango de flujo del líquido (cartucho 10").
Partículas de 30 a 75 micras⁷



Gráfica 3. Caída de presión vs. Rango de flujo del líquido (juego de caruchos)⁸



Nano fibra

El factor distintivo en filtros de ultra-red o fibro-red, es la tecnología de la nano fibra.

La nano fibra usa una capa de fibras de 0.2 a 0.3 micras de diámetro para capturar partículas de menos de una micra de tamaño.

En filtros de nano fibra, las partículas de polvo se acumulan rápidamente en la superficie para formar una película permeable.

⁷ CARTRIDGE SPECIFICATIONS, FLOW RATE VS. INITIAL CLEAN PRESSURE, 30-75 MICRONS

⁸ CARTRIDGE SPECIFICATIONS, HOUSING PRESSURE DROP VS. LIQUID FLOW RATE

Como resultado, filtros de ultra-red o fibro-red ofrecen la mayor eficiencia de filtrado eliminando un posible taponamiento prematuro del filtro, y permitiendo una liberación de la película de polvo durante el ciclo de limpieza del colector.

Figura 6. Nano fibra utilizada en filtros de ultra-red y fibro-red.⁹

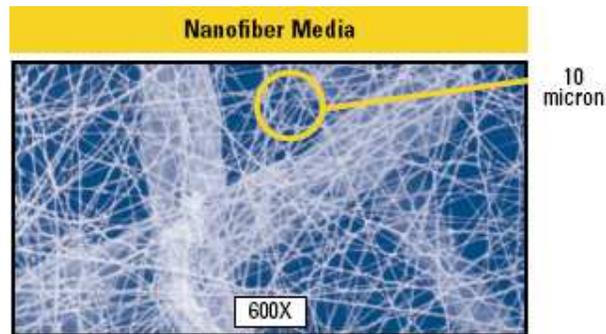
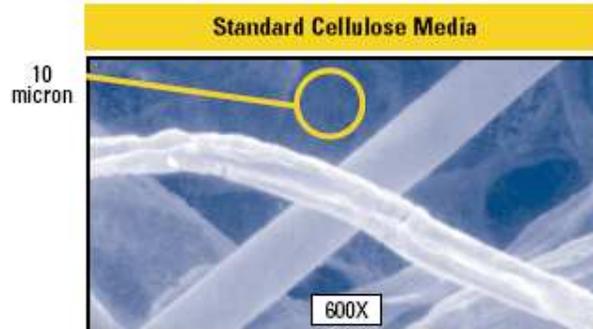


Figura 7. La celulosa común tiene espacios de más de 60 micras entre las fibras, permitiendo que el polvo se acumule más profundamente.¹⁰



1.3. SELECCIÓN DE BOMBAS

Para el diseño del sistema de impulsión, desarrollado en el quinto capítulo, es necesario realizar la selección de una bomba que cumpla con los requerimientos del sistema. Las bases para esta selección serán detalladas a continuación.

⁹ DONALDSON® TORIT® DCE®, FILTER CARTRIDGES BROCHURE, NANOFIBER FILTER MEDIA

¹⁰ DONALDSON® TORIT® DCE®, FILTER CARTRIDGES BROCHURE, CONVENTIONAL CELLULOSE MEDIA

1.3.1. BOMBAS

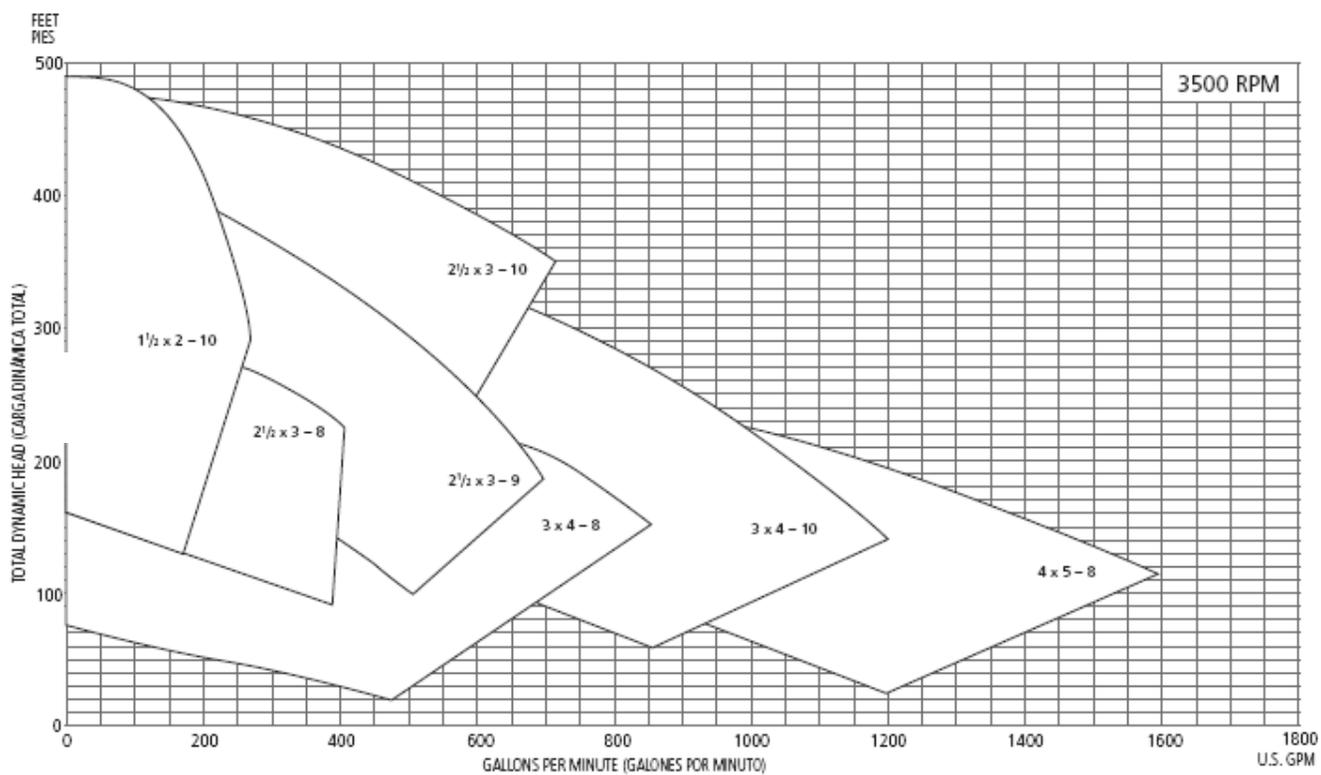
Se hará referencia al comportamiento y características específicamente de bombas centrífugas de rodete abierto, ya que, como se explicará en el capítulo cinco, el fluido de trabajo, al caracterizarse por presentar sólidos en suspensión, determina que esta clase de bomba es la que cubre de mejor manera los requerimientos del sistema en cuestión.

Curvas Características

Una bomba centrífuga opera a velocidad constante, y puede suministrar cualquier capacidad desde cero hasta un máximo, dependiendo de la columna, diseño y succión.

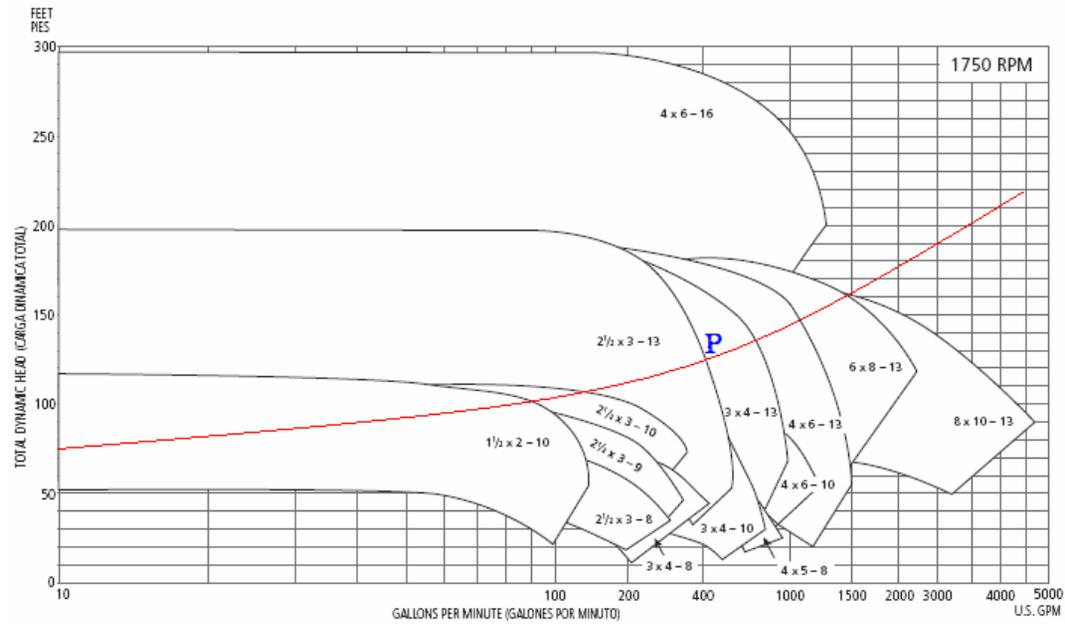
Las características hidráulicas de una bomba se expresan mediante una curva construida sobre los ejes H - Q de altura y caudal. Los puntos de dicha curva son obtenidos en fábrica mediante el estrangulamiento de una válvula colocada a la salida de la bomba que simula el cierre paulatino de varias válvulas hasta llegar al cierre total. Los caudales y alturas correspondientes a distintas posiciones de la válvula son obtenidos mediante caudalímetros y manómetros, respectivamente. Por ejemplo, en la *gráfica 4*, se puede apreciar la curva de Carga dinámica total vs. Caudal (gpm) de una bomba centrífuga típica.

Gráfica 4. Gráfica de características compuestas para una bomba centrífuga típica.¹¹



¹¹ GOULDS PUMPS, INC., CATÁLOGO 3656/3756 M & LGROUP

Gráfica 5. Gráfica simultánea de curva característica de una instalación y curva característica de una bomba¹²



¹² GOULDS PUMPS, INC., CATÁLOGO 3656/3756 M & LGROUP

Simultáneamente, se representa una curva de la demanda de una instalación (en rojo) y la curva característica de cierta bomba comercial (gráfica 5)

La bomba será la adecuada para cubrir las demandas de la instalación, cuando la curva de la bomba interseque el punto P de la curva de la instalación. Al punto P de intersección se le denomina punto de funcionamiento de la bomba.

Términos y definiciones (Figura 8)

Columna Estática

Es la altura de la columna del líquido que actúa sobre la succión o descarga de la bomba (entrada o salida). La columna estática es la diferencia de elevación y puede ser calculada para una variedad de condiciones que se encuentren en una instalación de bombeo.

Presión de Vapor

Es aquella que se debe a la formación de vapor en la superficie libre de cualquier líquido que se encuentra a cualquier temperatura sobre su punto de congelación, y es función de la temperatura del líquido.

Es un factor importante en las condiciones de succión de una bomba. En cualquier sistema de bombeo, la presión en cualquier punto nunca debe reducirse más allá de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido, ya que se formaría vapor que puede hacer que cese el flujo del líquido en la bomba, parcial o totalmente.

Elevación Estática de Succión

Es la distancia vertical del nivel de suministro de líquido al eje central de la bomba, encontrándose la bomba arriba del nivel de suministro.

Columna Estática de Succión

Es la distancia vertical entre el nivel de suministro de líquido y el eje central de la bomba. Encontrándose la bomba abajo del nivel de suministro.

Columna Estática de Descarga

Es la distancia vertical del eje central de la bomba, al punto de entrega libre del líquido.

Elevación Estática Total

Es la distancia vertical entre el nivel de suministro de líquido y el nivel de descarga del líquido que se maneja.

Columna de Fricción

Es la columna equivalente necesaria para vencer la resistencia de las tuberías, válvulas y aditamentos del sistema de bombeo. Varía con la velocidad del líquido, tamaño del tubo, condición interior del tubo, tipo de tubo y naturaleza del líquido que se maneja.

Elevación de Succión

Es la suma de la elevación estática de succión, la columna de fricción de succión y las pérdidas de admisión en el tubo de succión.

Columna de Succión

Es la columna de succión estática menos la columna de fricción de succión y las pérdidas de admisión de la tubería de succión, más cualquier presión que se encuentre en la línea de succión.

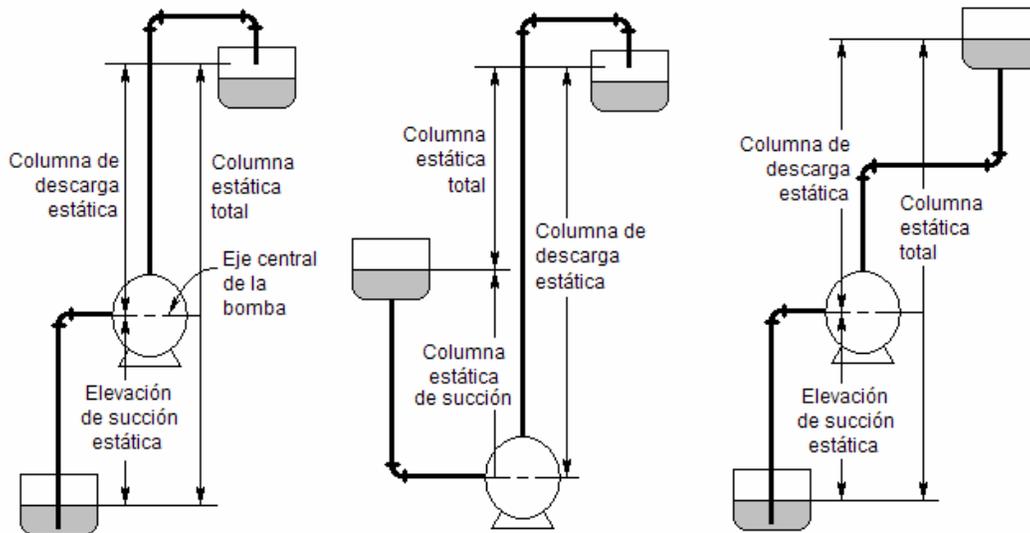
Columna de Descarga

Es la suma de la columna de descarga estática, la columna de fricción de descarga y la columna de velocidad de descarga.

Columna Total

Es la suma de las columnas de elevación de succión y de descarga. Cuando hay una columna de succión, la columna total de la bomba es la diferencia entre las columnas de descarga y de succión.

*Figura 8. Términos usados en bombeo, para las columnas*¹³



Columna Neta de Succión Positiva – CNSP (NPSH - Net Positive Suction Head)

El mayor número de dificultades que se presentan se deben a la determinación incorrecta de la NPSH. Estas pueden reducir la capacidad y la eficiencia de la bomba, llegando a producir daños por cavitación, además de problemas severos de operación, reduciendo la efectividad de la planta.

La ebullición empieza cuando la presión del líquido se reduce a la presión de vapor del fluido, a la temperatura del sistema (temperatura efectiva).

Para caracterizar el potencial de ebullición y cavitación, puede utilizarse la diferencia entre la altura total en el lado de succión de la

¹³ HICKS, TYLER; BOMBAS, SU SELECCIÓN Y APLICACIÓN; COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL

bomba, cerca del propulsor, y la presión de vapor del líquido a la temperatura efectiva.

La NPSH es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, a través de una tubería de succión al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba.

CNSP Requerida – CNSPr (NPSHr - Net Positive Suction Head Required)

La NPSHR es la cabeza de succión que debe ser sobrepasada para evitar vaporización y cavitación en el ojo del propulsor, y es siempre mayor que la NPSH teórica debido a la pérdida de altura en la tubería y en la cubierta de la bomba, a la aceleración de la velocidad local y al decrecimiento de presión en la superficie del propulsor.

La NPSHR es función del diseño de la bomba y puede obtenerse directamente del fabricante. Estos valores se basan en pruebas y están corregidos regularmente al eje central de la bomba.

CNSP Disponible – CNSPd (NPSHa - Net Positive Suction Head Available)

La *NPSHD* para un sistema particular debe ser determinada durante el diseño y construcción del mismo, o determinada experimentalmente en el sistema físico real.

1.4. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL EQUIPO

El sistema que será desarrollado en el presente proyecto deberá cumplir ciertos requerimientos determinados tanto por las condiciones de trabajo, como por la misma aplicación a la que será destinado.

Se deberán entonces considerar varios aspectos a manera de factores determinantes de las especificaciones generales del equipo. Estas condiciones se pueden dividir en:

- Características geométricas

- Características físicas
- Parámetros de las partículas del agua de formación

1.4.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL EQUIPO

Las características del medio de transporte de la unidad, principalmente desde el lugar de almacenamiento, ubicado en Lago Agrio, hasta su lugar de operación, en uno de los bloques donde se encuentre funcionando cualquier empresa de servicios u operadora petrolera, serán el factor limitante del tamaño de la unidad.

La plataforma de transporte disponible para el caso determina que el ancho máximo del sistema no deberá ser mayor a 1,90m, para no obstruir la visibilidad del conductor. El largo puede extenderse hasta los 3m sin complicaciones.

1.4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL EQUIPO

En lo que se refiere a parámetros físicos, las condiciones de trabajo son el factor que determinará las especificaciones requeridas.

El tiempo de operación disponible para el proceso de filtrado, establece que será aceptable estar dentro de un rango de entre 3,5 y 5,5 horas diarias, entre tanto, el volumen requerido será de 1000 a 1500 barriles/día.

Por tanto, el caudal de trabajo deberá ser de 200 gpm aproximadamente.

1.4.3. PARÁMETROS DE LAS PARTÍCULAS DEL AGUA DE FORMACIÓN

El manejo de la información en el país, en lo que se refiere a datos técnicos y estadísticos, específicamente en materia petrolera, presenta

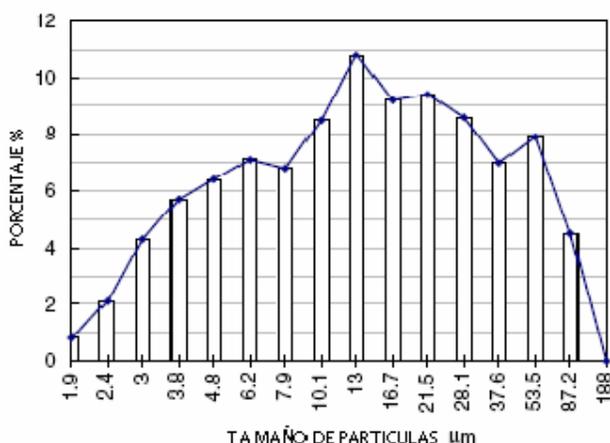
una disponibilidad muy escasa o casi nula. Esto se debe a un celo profesional en la mayoría de los casos, y a un tratamiento empírico de una gran cantidad de procesos dentro del campo de aplicaciones.

Este hecho, obliga a realizar una investigación basada en información de campos que presenten condiciones similares al oriente ecuatoriano, siendo las regiones más cercanas, las de la amazonía brasilera y colombiana.

Ha sido posible obtener documentación del campo Yarigui – Cantagallo (Colombia)¹⁴, respaldada por la Sociedad de Ingenieros Petroleros (SPE - Society of Petroleum Engineers). Datos que se presentan a continuación:

Datos estadísticos y distribuciones obtenidos del campo Yarigui-Cantagallo (Colombia)

Gráfica 6. Histograma de la distribución de tamaños de las partículas suspendidas en el agua de formación.



¹⁴ COMPREHENSIVE SYSTEM FOR TREATMENT AND INJECTION OF PRODUCED WATER: FIELD CASE; I. MANTILLA, SPE, AND P.QUINTERO, EMPRESA COLOMBIANA DE PETRÓLEOS, ECOPETROL.

Gráfica 7. Histograma de porcentajes acumulados de la distribución del tamaño de las partículas en el agua de formación.*

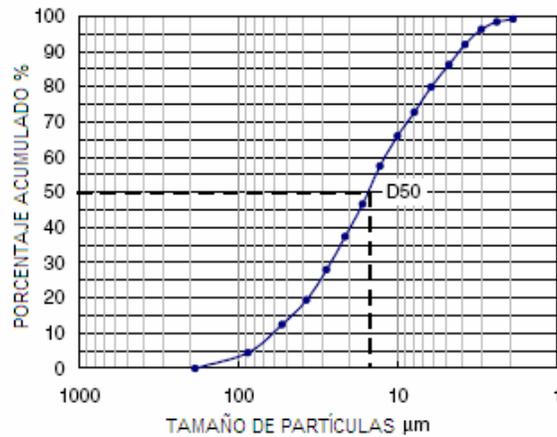


Tabla 1. Propiedades del agua de formación.*

PARÁMETRO	ENTRADA API	DESCARGA
Ph/°F	7,7/98,6	7.7 / 96.3
S.G.	1.0190	1.0211
Potencial oxidación (mV)	331 – 596	250 - 500
Turbidez (NTU)	38 – 60	5 – 30
Resistividad @ 79°F (Ω m)	0,260	0,25
Na ⁺ (mg/l)	10500	10500
K ⁺ (mg/l)	60.0	50 – 70
Ca ⁺⁺ (mg/l)	500 – 660	550 - 600
Mg ⁺⁺ (mg/l)	100.0	80 - 100
Sr ⁺⁺ (mg/l)	60.0	63.0
Fe ⁺⁺ (mg/l)	0,25 – 4,5	0,15 – 3,5
Hierro (mg/l)	1 – 5	0,7 – 6
SiO ₂ (mg/l)	24 – 30	25,0
Cl ⁻ (mg/l)	17500	17000
SO ₄ ⁻ (mg/l)	0 – 3,2	0 -2.0
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	190	140 – 180
CO ₃ ⁻ (mg/l)	0	0
S ⁻ (mg/l)	No detectado	No detectado
Trazas de petróleo (mg/l)	200 – 500	2,0 – 5,0
Total de Sólidos (mg/l)	30000	30000
Sólidos disueltos (mg/l)	29000	28500
Sólidos suspendidos (mg/l)	400 – 1700	300 – 1200
O ₂ (mg/l)	0,01 – 0,7	1,0 – 4,0
CO ₂ (mg/l)	10 – 20	10 -20

* LA LÍNEA PUNTEADA INDICA EL TAMAÑO DE PARTÍCULAS CORRESPONDIENTES AL 50% DEL TOTAL DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN.

* LOS PARÁMETROS RESALTADOS SON LAS PROPIEDADES QUE SE TOMARÁN EN CUENTA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE FILTRADO

El factor determinante, determinado por la aplicación del agua filtrada, es la turbidez, por tanto, la unidad deberá operar bajo las siguientes especificaciones:

- Turbidez de entrada: 38 - 60 (NTU)
- Turbidez de salida: 5 - 30 (NTU)

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DEL LÍQUIDO DE TRABAJO

ESTUDIO FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA DE FORMACIÓN

INTRODUCCIÓN

El agua, elemento indispensable para la manutención de la vida, por sus propiedades físicas es un elemento imprescindible para las actividades del hombre.

Uno de los factores que permiten la diversificación de sus usos es su disponibilidad, ya que las tres cuartas partes del planeta Tierra se componen de agua.

Para el caso específico de la industria petrolera, el agua representa un recurso natural muy importante, puesto que varias actividades en los procesos de producción de crudo se pueden llevar a cabo mediante la utilización de agua líquida como fluido de trabajo.

Sin embargo, la explotación petrolera trae como consecuencia la producción de agua de formación que presenta altas concentraciones de elementos pesados como hierro, magnesio, calcio, estroncio, azufre y bario en forma de iones, así como cloruros, carbonatos y sulfatos, además de hidrocarburos. Estos elementos generan efectos nocivos para la vida vegetal y animal. Además de procesos acelerados de corrosión y erosión en los equipos empleados por la industria petrolera.

Debido a los efectos desfavorables de las sustancias disueltas en el agua de formación, a esta se le da cierto tratamiento mediante químicos demulsificantes, antiparafínicos, anti-incrustaciones, entre otros, que le dan al agua de formación características especiales para su manipulación en los procesos de producción.

Estos tratamientos elevan considerablemente la toxicidad del agua separada del petróleo, lo que provocaría problemas de las vías respiratorias, enfermedades cardíacas y del estómago, llegando incluso a provocar cáncer cuando las aguas se eliminan a través de los ríos y esteros a los cuales tienen acceso ciertos asentamientos humanos. Por esta razón, existen procesos de reinyección.

Las propiedades químicas del agua de formación no son el objeto del presente diseño, por lo cual serán abordadas ligeramente a lo largo de este capítulo. Además, existen en la industria petrolera secciones de ingeniería especializadas en el manejo de aguas de desecho, las cuales realizan la descontaminación de las mismas antes de desecharlas. Inclusive, para evitar sus efectos nocivos, se reinyectan los fluidos contaminados a la formación. Un ejemplo de esto se da en el Campo Shushufindi, donde toda el agua de formación que se produce (alrededor de 72000 BAPD) se reinyecta a la formación Tiyuyacu en varios pozos.

El enfoque del presente capítulo se orienta hacia un análisis de las propiedades físicas del agua de formación, que deberán ser tomadas en cuenta para el diseño del equipo.

La característica más importante del agua de formación que será abordada es su turbidez, puesto que el objeto del presente diseño es la reducción de la misma a niveles óptimos que permitan su utilización en los campos petroleros.

CONSIDERACIONES TEÓRICAS DEL AGUA DE FORMACIÓN¹⁵

2.1. ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL AGUA DE FORMACIÓN

Los análisis del agua de formación normalmente se llevan a cabo en laboratorios o en el campo a fin de determinar sus características físicas y químicas. Muchas propiedades pueden cambiar rápidamente luego de tomada la muestra, como pH, temperatura, contenido de gas disuelto, cantidad de sólidos suspendidos y población bacteriana, lo que indica que muchas propiedades que son de gran importancia solo pueden ser medidos con una buena precisión si se realiza en el mismo lugar de donde se toma la muestra.

2.1.1. DEPÓSITOS DE SÓLIDOS EN EL AGUA DE FORMACIÓN

Es de gran interés en el manejo de las aguas de formación conocer los siguientes parámetros:

- Los constituyentes y propiedades del agua de mayor importancia.
- El significado de cada uno.
- Los métodos analíticos típicamente usados.

La preocupación primaria en las operaciones de manejo de agua con iones y propiedades físicas que son importantes desde el punto de vista de la corrosión se presenta en la Tabla 2.

El agua de formación en superficie tiene temperaturas entre 100 y 120 °F y dependiendo de las características físico-químicas (alto contenido de bicarbonatos) se generan depósitos que pueden incluso llegar a taponar totalmente las líneas de flujo.

¹⁵ CASTRO CARLOS, TESIS: DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LOS DEPÓSITOS SÓLIDOS EN LOS SISTEMAS DE REINYECCIÓN DE AGUA DEL CAMPO SHUSHUFINDI DE PETROPRODUCCIÓN, QUITO, EPN, 2000.

Tabla 2. Características físico-químicas del agua de formación

Cationes	Aniones	Otras propiedades
<p>Sodio Na⁺ Calcio Ca⁺⁺ Magnesio Mg⁺⁺ Hierro Fe⁺⁺⁺, Fe⁺⁺ Estroncio Sr⁺⁺ Bario Ba⁺⁺</p>	<p>Cloruro Cl⁻ Sulfato SO₄⁼ Bicarbonato HCO₃⁻ Carbonato CO₃⁼</p>	<p>PH Población bacteriana Sólidos suspendidos Turbidez Calidad del agua Oxígeno disuelto CO₂ disuelto Sulfuros totales como H₂S Contenido de hidrocarburos Temperatura Sólidos totales disueltos Gravedad específica Resistividad (conductividad) Sílica</p>

2.1.2. SIGNIFICADO DE LOS CONSTITUYENTES DEL AGUA DE FORMACIÓN Y PROPIEDADES¹⁶

Cationes

Sodio, es el constituyente más abundante en el agua de formación, aunque normalmente no causa problemas excepto por la precipitación de cloruro sódico en aguas extremadamente saladas.

Ión calcio, es el mayor constituyente en formaciones saladas y puede alcanzar valores de hasta 30 000 mg/l aunque su concentración normalmente es más baja. El ión calcio es de principal importancia porque combina fácilmente con iones carbonato, bicarbonato o sulfato y se precipita para formar incrustaciones o sólidos suspendidos.

¹⁶ CASTRO CARLOS, TESIS: DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LOS DEPÓSITOS SÓLIDOS EN LOS SISTEMAS DE REINYECCIÓN DE AGUA DEL CAMPO SHUSHUFINDI DE PETROPRODUCCIÓN, QUITO, EPN, 2000.

Iones magnesio, Están presentes usualmente en concentraciones mucho más bajas que el calcio. Ellos tienden a añadirse al carbonato de calcio y causan problemas de incrustación por precipitación del ión calcio. Los iones magnesio disminuyen la cantidad de sulfato de calcio, forman “pares de iones” con el ión sulfato. El ión magnesio tiene la habilidad de formar un compuesto que permanece en solución. Los iones sulfato que se atan al magnesio no están dispuestos para formar incrustaciones de sulfato.

Hierro, el contenido natural de este elemento en las aguas de formación normalmente es muy bajo y su presencia usualmente proporciona indicativos de corrosión. Puede estar presente como iones férricos Fe^{+++} o ferrosos Fe^{++} y puede estar en suspensión como precipitado de hierro. Los valores de la concentración de hierro se usan para monitorear la corrosión en el sistema, puesto que la presencia de precipitado de hierro es una de las mayores causas de formación de incrustaciones.

Bario, es de gran importancia debido a su facilidad de combinarse con el ión sulfato para formar sulfato de bario que es insoluble, aún pequeñas cantidades puede ocasionar serios problemas.

Estroncio, también se combina con el ión sulfato para formar sulfato de estroncio, aunque más soluble que el sulfato de bario, se encuentra en mezclas de incrustaciones con sulfato de bario.

Aniones

Cloruro, el ión cloruro es casi siempre el mayor constituyente en el agua de formación producida y prácticamente ausente en fuentes de aguas frescas. La mayor fuente de iones cloruro es el cloruro sódico. Luego, la concentración de iones cloruro se usa para medir la salinidad del agua.

Aunque la deposición de sal puede ser un problema de pequeñas consecuencias, el caso es que mientras más concentración de sal exista en el agua, hace que se tenga un mayor grado de corrosión. Así, la determinación de la concentración de cloruro es una de las formas más fáciles de identificación del tipo de agua.

Ión Sulfato, su presencia es un problema debido a la facilidad que tiene para reaccionar con iones calcio, estroncio o bario para formar

incrustaciones insolubles o poco solubles. Además sirve como sustancia “alimento” para bacterias sulfato-reductoras.

Ión Bicarbonato, está presente en virtualmente todas las aguas de formación. Este ión puede reaccionar con iones calcio, magnesio, hierro, bario y estroncio, con la diferencia de que los iones carbonato están normalmente presentes en aguas producidas porque el pH es bajo (menor a 8,3). La concentración de iones carbonato a veces se conoce como alcalinidad fenoltaleína.

Otras propiedades

El pH, es un indicador semicuantitativo de la acidez o alcalinidad del agua, y es de extrema importancia debido a que la solubilidad del carbonato de calcio y compuestos de hierro son dependientes del pH. Un pH alto proporciona mayor tendencia a la precipitación, cuando es más bajo (se vuelve más ácido) surge en cambio el problema a la corrosión. En Shushufindi el pH del agua de reinyección varía entre 6,5 y 8,5.

La escala utilizada para de la acidez es la siguiente:

Un pH igual a 7 representa un carácter neutro; un pH menor que 7 significa que tiene un carácter ácido y mientras menor sea este valor significa que el fluido es más ácido; un valor por encima de 7 y hasta 14 representa un carácter alcalino.

Tanto el sulfuro de hidrógeno como el dióxido de carbono son gases ácidos que tienden a bajar el pH del agua cuando se disuelven en agua. Éstos se ionizan parcialmente cuando se disuelven y el grado de ionización se refleja por el pH, esto es importante en la predicción de la corrosión y sólidos suspendidos.

Población bacteriana, la presencia de bacterias causan corrosión en el sistema especialmente las bacterias sulfato – reductoras.

Sólidos suspendidos, la cantidad de sólidos suspendidos que puede pasar a través de un filtro, es una de las bases para la

estimación de la tendencia del taponamiento de sistemas de inyección y de reinyección.

La determinación de la forma de las partículas por examinación visual o microscopía electrónica es muy útil antes de empezar un proceso de filtración, y usualmente se usa junto con las distribuciones del tamaño de las partículas.

La determinación de la composición de sólidos suspendidos posibilita conocer su origen (productos de corrosión, partículas de escala, formación de arena, precipitados)

La calidad del agua, es una medida del grado relativo de taponamiento que ocurre cuando un volumen dado de agua pasa a través de un filtro membrana o de un orificio. Se usa corrientemente un orificio de 0,45 μm .

Oxígeno disuelto, contribuye significativamente a la reactividad corrosiva del agua debido a la capacidad para producir reacciones químicas. Así, si el hierro disuelto está presente en el agua, el oxígeno facilita la precipitación de hierro insoluble en óxidos de hierro, el oxígeno además facilita el crecimiento de bacterias aeróbicas.

Dióxido de carbono disuelto, el dióxido de carbono genera corrosión al formar ácido carbónico y disolverse en el agua y consecuentemente influye en el pH.

Sulfuros totales, la presencia de sulfuros en el agua incrementa la corrosión. Los sulfuros se presentan como una mezcla de iones HS^- y gas disuelto H_2S . Al total de ambos compuestos se lo conoce como sulfuros totales que pueden estar naturalmente presentes en agua o ser generados por bacterias sulfato-reductoras. Si un sistema de agua dulce (inicialmente libre de H_2S) empieza a tener indicios de presencia de H_2S , significa que las bacterias sulfato-reductoras están

probablemente trabajando en algún lugar del sistema. Luego, el sulfuro de hidrógeno será generado como un producto de corrosión.

Contenido de hidrocarburos, la presencia de petróleo disperso o en emulsión frecuentemente presenta problemas cuando se inyecta agua de formación debido a que disminuye el grado de inyección por la formación de bloques de emulsión, lo que actúa como adherente para ciertos sólidos como sulfuro de hierro. Cuando se inyecta agua con saturación inicial de petróleo, éste puede taponar los poros de la formación rocosa en los alrededores del pozo, lo que crea saturación de crudo que reduce la inyectividad.

Temperatura, la temperatura del agua afecta a la tendencia de incrustaciones, el pH y la solubilidad de gases en el agua puesto que favorece a la producción de reacciones químicas. La gravedad específica del agua es una función de la temperatura.

Los sólidos totales disueltos, se refiere simplemente a la suma total de materia soluble en un volumen dado de agua y se puede medir sumando las concentraciones de todos los aniones y cationes que se obtienen de los análisis de los reportes, o también haciendo evaporar una muestra de agua y pesando los residuos.

Gravedad específica,¹⁷ es la razón de la densidad de agua de la muestra entre la densidad del agua pura. La gravedad específica es un indicador directo de la suma total de sólidos disueltos en el agua de formación. Por lo tanto, la comparación de la gravedad específica de varias muestras de agua de formación dan una estimación rápida de la cantidad de sólidos disueltos en el agua.

Resistividad, es una función del número de iones disueltos en el agua. Una baja resistencia indica una alta concentración de iones. La

¹⁷ MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS, MÉXICO, LIMUSA, 1991

medida de la resistividad es mucho más sensible para pequeños cambios en los sólidos totales disueltos en aguas frescas que la gravedad específica.

Conductividad, Los valores de la conductividad se usan a veces en vez de la resistividad y es precisamente el recíproco, es decir:

$$C = \frac{1}{R} \quad [2.1]$$

Donde C es la conductividad y R la resistividad

Para propósitos prácticos se usa

$$C(\mu mho/cm) = \frac{1000}{\text{Resistividad } (\Omega\text{-cm})} \quad [2.2]$$

Sílica, no presenta ningún problema en operaciones de reinyección de agua.

2.2. LA TURBIDEZ

2.2.1. GENERALIDADES

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica del agua que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. En lagos la turbiedad es debida a dispersiones extremadamente finas y coloidales, en los ríos, es debido a dispersiones normales.

La eliminación de la turbiedad, se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, asentamiento y filtración.

La medición de la turbiedad, en una manera rápida que nos sirve para saber cuando, como y hasta que punto debemos tratar el agua para que cumpla con la especificación requerida.

La turbiedad es de importante consideración en las aguas para abastecimiento público por tres razones:

Estética: Cualquier turbiedad en el agua para beber, produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.

Filtrabilidad: La filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbiedad.

Desinfección: Un valor alto de la turbidez, es una indicación de la probable presencia de materia orgánica y microorganismos que van a aumentar la cantidad de cloro u ozono que se utilizan para la desinfección de las aguas para abastecimiento de agua potable.

De las tres consideraciones anteriores la que será tomada en cuenta para el presente diseño es la filtrabilidad del fluido, puesto que el equipo debe ser capaz de filtrar agua bajo ciertas condiciones de turbidez.

El límite máximo permisible en el agua potable es de 10 NTU (unidades de turbidez nefelométricas). Por lo tanto, el agua que se producirá con la unidad de filtración presenta en su límite máximo de purificación, agua prácticamente potable.

2.2.2. PASOS PARA LA MEDICIÓN DE TURBIDEZ

Almacenaje de la muestra

La turbidez de la muestra debe ser determinada el mismo día que fue tomada.

Si esto no es posible, las muestras se pueden conservar en la oscuridad hasta por 24 horas, refrigeradas a 4 °C.

Para tiempos de almacenamientos más prolongados, la muestra se puede preservar con la adición de 1 g de cloruro mercuríco por litro. (no es recomendable).

Campo de aplicación

Este método de prueba es aplicable para la medición de turbidez en muestras de agua de uso doméstico, industrial y residual. El intervalo de medición es de 0,05 a 40 NTU.

Valores de turbidez mayores a 40 se pueden determinar, diluyendo la muestra proporcionalmente, con agua destilada.

Principios

Algunos de los instrumentos medidores de turbidez dependen de comparaciones visuales, otros utilizan una celda fotoeléctrica que miden la luz dispersada a 90 ° a la trayectoria de l rayo de luz en la muestra (nefelometría).

Dichos aparatos son los que actualmente se están usando, por su mayor precisión.

El turbidímetro de Hellige, que es el utilizado en este método es del tipo nefelométrico, se basa en el efecto de Tyndall. Se compara un rayo de luz que se hace pasar hacia arriba por la muestra, con la luz dispersada hacia arriba por las partículas suspendidas de la solución turbia, la cual es iluminada lateralmente a 90 °.

La unidad de turbiedad, fue definida "como la obstrucción óptica de la luz, causada por una parte por millón de sílice en agua destilada",

1 unidad nefelométrica de turbiedad (NTU) = 7.5 ppm de SiO₂

Actualmente, la unidad utilizada es la NTU, Unidad Nefelométrica de Turbidez y que equivale a;

1 unidad nefelométrica de turbidez (NTU) = 1 ppm de formazina estandar

Los valores de turbiedad pueden variar desde cero hasta varios miles de unidades en aguas altamente turbias, consecuentemente no hay un método de determinaciones que abarque tan amplio intervalo.

Existen tres métodos comunmente empleados.

- a) Método del Turbidímetro Hellige.
- b) Método del Nefelómetro Fotoeléctrico.
- c) Método Turbidimétrico de Bujía de Jackson .

La unidad utilizada normalmente es la NTU (Unidades nefelométricas de turbidez), otras unidades que aún se usan se pueden transformar utilizando la siguiente tabla:

Tabla 3. Factores de conversión entre unidades de turbidez.¹⁸

Unidad	JTU	NTU	SiO₂ mg/l
JTU	1.0	19	2.5
NTU	0.053	1	0.133
SiO₂ mg/l	0.4	7.5	1

2.2.3. INTERFERENCIAS

La determinación de turbidez es aplicable a cualquier muestra de agua que esté libre de impurezas y partículas gruesas que puedan asentarse con rapidez.

Se obtienen resultados falsos por material de vidrio sucio, por la presencia de burbujas y por los efectos de vibración que puedan alterar la visibilidad en la superficie de la muestra de agua.

2.3. INCRUSTACIONES FORMADAS POR EL AGUA DE FORMACIÓN¹⁹

CARBONATO DE CALCIO

El carbonato de calcio es afectado por la presión parcial de dióxido de carbono, puesto que la presencia de CO₂ aumenta la solubilidad del

¹⁸ [HTTP://MEMBERS.TRIPOD.COM/ARTUROBOLA/TURBI.HTM](http://members.tripod.com/arturobola/turbi.htm)

¹⁹ CASTRO Carlos, TESIS: DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LOS DEPÓSITOS SÓLIDOS EN LOS SISTEMAS DE REINYECCIÓN DE AGUA DEL CAMPO SHUSHUFINDI DE PETROPRODUCCIÓN, Quito, EPN, 2000.

carbonato de calcio. Cuando el dióxido de carbono se disuelve en agua se forma ácido carbónico.

Solo un pequeño porcentaje de iones bicarbonato se disocian para la mayoría de aguas de inyección para formar H^+ y $CO_3^{=}$.

La solubilidad del carbonato de calcio se incrementa cuando aumenta la presión parcial de CO_2 . El efecto es menos pronunciado cuando aumenta la temperatura.

La cantidad de dióxido de carbono presente afecta el pH del agua y la solubilidad del carbonato de calcio. Sin embargo no importa qué causa la acidez o alcalinidad del agua, pero un pH más alto hace más probable la precipitación. La solubilidad de $CaCO_3$ en un sistema de dos fases se incrementa con el incremento de la presión por las siguientes razones:

SULFATO DE CALCIO

En la mayoría de los casos en $CaSO_4$ bi-hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), hemihidratado ($CaSO_4 \cdot H_2O$) o anhídrido insoluble. El bi-hidratado es más soluble que el $CaSO_4$ a la misma temperatura y por encima de 100 °F el anhídrido es menos soluble que el anterior.

El incremento de la presión aumenta la solubilidad de todas las formas de $CaSO_4$ debido a las consideraciones termodinámicas. Las caídas de presión son una de las principales causas de deposición de incrustaciones en los sistemas de producción puesto que las caídas de presión en las válvulas favorece a la turbulencia en el agua que ayuda a que sobrevenga la súper saturación e inicie la precipitación. El pH casi no presenta ningún problema en la solubilidad del sulfato de calcio.

SULFATO DE BARIO

Es el menos soluble entre las incrustaciones que hemos discutido hasta ahora, de acuerdo a la tabla 4. La precipitación de sulfato de bario proviene de:

Tabla 4. Solubilidades a 25°C²⁰

Incrustación	Solubilidad (mg / l)
Sulfato de calcio bihidratado	2080
Carbonato de calcio	53
Sulfato de bario	2,3

La extrema insolubilidad del sulfato de bario hace muy probable la presencia de incrustaciones cuando se tienen iones Ba^{++} y $SO_4^{=}$ presentes en el agua.

La solubilidad del sulfato de bario se incrementa cuando la temperatura está por encima de 212 °F pero muy lentamente, lo que hace que el sulfato de bario sea insoluble aún a altas temperaturas, pero tiene un aumento más importante en la solubilidad con la presencia de sales ajenas como el carbonato de calcio y sulfato de calcio.

SULFATO DE ESTRONCIO

Es considerablemente más soluble que el sulfato de bario, con una solubilidad de 129 mg / l en agua pura a una temperatura de 77 °F. La precipitación del sulfato de estroncio proviene de:

La solubilidad del sulfato de estroncio se disminuye cuando decrece la temperatura. En agua pura la solubilidad baja a 68 mg / l a 257 °F, pero se incrementa con el contenido de sólidos disueltos como NaCl y alcanza hasta 175 000 mg / l. La solubilidad del sulfato de estroncio se incrementa con la presión pero de una forma muy leve y solo tiene un ligero incremento por encima de 3 000 psig. Las caídas de presión son una causa muy importante en la deposición de incrustación de sulfato de estroncio en los sistemas de producción. El pH casi no presenta ningún efecto en la solubilidad del sulfato de estroncio.

²⁰ CASTRO Carlos, TESIS: DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LOS DEPÓSITOS SÓLIDOS EN LOS SISTEMAS DE REINYECCIÓN DE AGUA DEL CAMPO SHUSHUFINDI DE PETROPRODUCCIÓN, QUITO, EPN, 2000.

COMPUESTOS DE HIERRO

Los iones hierro pueden estar presentes en el agua de forma natural o producto de corrosión. Las aguas de formación normalmente contienen pocos miligramos por litro de hierro natural y valores tan altos como 100 mg/l son muy raros. Los valores altos son invariablemente resultado de corrosión. Compuestos de hierro precipitado son causas comunes de formación de incrustaciones, lo cual es un serio indicativo de problemas de corrosión.

La corrosión es usualmente el resultado de dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno u oxígeno disuelto en agua. La mayoría de las incrustaciones que contienen hierro son productos corrosivos, aunque los compuestos de hierro pueden formarse por precipitación de hierro, aún si la corrosión es relativamente moderada.

El dióxido de carbono puede reaccionar con hierro para formar incrustaciones de carbonato de hierro. La formación o no de incrustación dependerá del pH del sistema, la formación de incrustación es mucho más probable con un pH por encima de 7.

El sulfuro de hidrógeno formará sulfuro de hierro como un producto de corrosión que es insoluble y solamente se disuelve en ácidos. Usualmente forma una fina incrustación adherente.

El oxígeno se combina para formar varios compuestos: hidróxido de hierro, hidróxido ferroso y óxido férrico, son incrustaciones comunes que resultan del contacto con el aire.

2.4. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA DE FORMACIÓN²¹

El conocimiento del comportamiento de los microorganismos en el agua es muy importante puesto que su presencia puede causar corrosión o taponamiento del equipo de inyección.

La microbiología es una rama de la biología que concentra su estudio en las formas microscópicas de vida conocidas como microorganismos. La

²¹ MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS, MÉXICO, LIMUSA, 1991

preocupación primaria en las operaciones de campo es el comportamiento de organismos microscópicos que son capaces de vivir bajo todo tipo de condiciones y multiplicarse con increíble rapidez.

2.4.1. MICROORGANISMOS ENCONTRADOS EN EL AGUA DE FORMACIÓN

Eucaria

Este grupo de microorganismos incluyen algas, hongos y protozoos.

Algas

Son plantas unicelulares que contienen clorofila. Las algas fabrican su alimento por fotosíntesis usando luz como fuente de energía y dióxido de carbono como fuente de carbón para su crecimiento. Ellas necesitan luz solar para desarrollarse, aunque pueden crecer lentamente en la oscuridad.

Hongos

Generalmente crecen mejor en sistemas aeróbicos y se piensa que causan algunos problemas en la mayoría de los sistemas de inyección de agua.

Protozoos

Son la forma más simple de vida animal. Se encuentran tanto en agua fresca como en agua salada y requieren de oxígeno para vivir. En sistemas de aguas de inyección se encuentran en tanques abiertos o en filtros cuando el agua es aireada. Generalmente el control de otra población bacteriana basta para controlar la de protozoos.

Bacterias

Constituyen los microorganismos de mayor interés en el manejo del agua de formación. La célula bacteriana es solo ligeramente visible aún cuando se examina con el microscopio electrónico. Dentro de la célula se encuentra una delgada membrana semipermeable que controla selectivamente el paso de sustancias entre el organismo y el ambiente externo. La mayoría de las bacterias tienen propulsión

propia con la ayuda de flagelos que rotan y funcionan como un pequeño motor fuera de borda

Clasificación de las bacterias

Las bacterias pueden clasificarse de diversas formas. Una descripción de algunos criterios de clasificación es de acuerdo al tamaño y forma. Las bacterias son extremadamente pequeñas (alrededor de 0,5 μm de diámetro) y existen literalmente por miles de especies. Las más generales son:

Una sola bacteria esférica: cocos

Varias bacterias esféricas: cocci

Una cadena de cocci se llama estreptococos, mientras que un plano de cocci se llama estafilococos.

Rodillos rectos: bacilos

Rodillos curvos:

Vibrio: una sola curva en forma de C

Signoide: doblado como una S

Espirilo: dos o más curvas en forma de espiral

Ambientes para el crecimiento de bacterias

La razón por la que las bacterias causan muchos problemas es la gran capacidad de reproducir. Algunas pueden doblar su población en 20 minutos bajo condiciones ideales, que significa que una sola bacteria puede generar una gran colonia de millones de bacterias en pocas horas.

Las bacterias pueden resistir rangos de temperatura muy amplios (de 14 a 210 °F), valores de pH de 0 a 10,5 y concentraciones de oxígeno de 0 a 100 % . Sin embargo en los sistemas de agua, ellas crecen mejor en un pH de 5 a 9 y temperaturas menores de 180 °F. Prefieren el agua fresca pero viven muy bien en ambientes salinos, tanto que llegan a tolerar concentraciones hasta de 100000 ppm de cloruro sódico. Son extremadamente adaptables y resistentes.

Las bacterias pueden vivir en grupos o colonias adheridas a superficies sólidas o suspendidas en agua. Las bacterias adheridas a la superficie se llaman “sesiles”, cuando están suspendidas en agua se llaman planctónicas. A veces simplemente flotan o nadan.

La mayoría de las bacterias son sesiles. Se ha encontrado que en un sistema típico hay de 1000 a 10 000 veces las bacterias que se hallan suspendidas en el agua.

Las bacterias sesiles producen una sustancia llamada polisacárido, con la que forman una película que las cubre, la cual puede llegar a tener hasta 1 mm de espesor. En estas capas pueden llegar a habitar una comunidad completa de bacterias.

Requerimientos de oxígeno

Una forma de clasificación de las bacterias de interés en los sistemas de inyección es si las bacterias requieren o no oxígeno para vivir y se tienen 3 categorías.

- Aeróbicas, requieren oxígeno para su crecimiento.
- Anaeróbicas, crecen mejor en ausencia de oxígeno.
- Facultativas, crecen tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

Bacterias Nocivas

Como ya se dijo, las bacterias contribuyen tanto a la corrosión como al taponamiento. Las maneras cómo afectan a la corrosión son varias como:

- Generan sulfuro de hidrógeno, lo que incrementa la corrosividad del agua.
- Producen ácidos orgánicos que inician o aceleran la corrosión en la superficie metálica debajo de las colonias.
- Producen enzimas que pueden incrementar la tasa de corrosión por precipitación directa en los procesos de corrosión electroquímica.

- Oxidan el hierro en el agua y causan la precipitación en forma de depósitos (conocidos como tubérculos).
- Una combinación de lo anterior.

Bacterias sulfato-reductoras

Las sulfato-reductoras (BSR) son en efecto las que más serios problemas causan en los sistemas de reinyección que cualquier otro tipo de bacterias. Ellas reducen los iones sulfato o sulfito a iones sulfuros, resultando finalmente H_2S .

Cuatro tipos de problemas son el resultado de la actividad sulfato-reductora en un sistema de inyección.

1. Pueden participar directamente en la reacción de corrosión desgastando el metal debajo de la colonia bacteriana.
2. La generación de H_2S puede incrementar la corrosividad del agua. Si el agua ya contenía sulfuro de hidrógeno, el aumento en la concentración del mismo no causa mucho daño, pero si originalmente el agua era dulce, una pequeña dosis de sulfuro de hidrógeno puede cambiar sustancialmente la corrosividad del sistema.
3. La presencia de bacterias sulfato-reductoras en un sistema que originalmente estaba libre de sulfuro de hidrógeno, crea la posibilidad de agrietar o formar ampollas en el acero.
4. La corrosión agría resulta de la formación de sulfuro de hierro que solamente se disuelven en ácidos inorgánicos como por ejemplo ácido clorhídrico. El sulfuro de hierro es un gran material de taponamiento.

Las bacterias sulfato-reductoras se hallan frecuentemente en aguas estancadas o corrientes principalmente debajo de las incrustaciones. Los lugares más comunes para la actividad bacteriana en los sistemas de inyección son piscinas, tanques, filtros y sumideros.

Algunas bacterias, como la sulfatomaculum, pueden formar esporas, estructuras formadas por el cuerpo de una bacteria. Las esporas son resistentes a la temperatura, ácidos, alcoholes, desinfectantes, secado, congelamiento, y muchas otras condiciones adversas. Las esporas pueden durar por cientos de años y luego germinar en condiciones favorables. Tienen muchas de las características de una semilla pero no es una estructura reproductiva.

Las bacterias sulfato-reductoras no son una excepción puesto que toleran variaciones de temperatura bastante amplias, rangos de pH de 5 a 9 y presiones de hasta 14 500 psi. Sin embargo, Los valores absolutos de temperatura, pH y presión requeridos para su crecimiento no se han establecido con certeza. Por ejemplo, bacterias que se han extraído del fondo del pozo a temperaturas de 250 °F, se han cultivado en el laboratorio y no crecen a temperaturas mayores de 190 °F. La máxima temperatura a la cual puede crecer una BSR puede incrementarse con la presión.

Las BSR's absorben los nutrientes directamente del ambiente que las rodea. Cada célula contiene proteínas llamadas enzimas que ayudan a descomponer las moléculas nutrientes y facilita a la bacteria a extraer su energía.

Una sola célula viviente contiene cientos de diferentes enzimas. Cada una es un catalizador efectivo para una reacción química específica. No obstante, las enzimas trabajan juntas en forma coordinada para producir los materiales requeridos para el normal crecimiento de la célula.

Las BRS's requieren un número de nutrientes para mantener su crecimiento. Algunos de los principales son: carbón, hierro disuelto, iones sulfato, bisulfito o trisulfito, también nitrógeno y fósforo.

2.5. EFECTOS DE LOS ELEMENTOS DISUELTOS EN EL AGUA DE FORMACIÓN

2.5.1. CORROSIÓN²²

La mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza en forma de óxidos o sales. La refinación para producir metal puro requiere suministros de alta energía, lo cual se almacena en el metal y está disponible para proporcionar la fuerza motriz necesaria para retornar al metal a su estado inicial (como óxido o sal). Esto significa que los metales son inestables y tienen la tendencia natural de regresar a su estado inicial de baja energía o corrosión. La corrosión es un proceso electroquímico, lo que significa que la corriente eléctrica fluye durante los procesos de corrosión.

Para que fluya la corriente debe haber una fuerza motriz o fuente de voltaje y un circuito completo. La fuente de voltaje en los procesos de corrosión es la energía almacenada en el metal por los procesos de refinación. Diferentes metales requieren diferentes cantidades de energía para la refinación y por lo tanto, tienen diferentes tendencias para corroerse.

2.5.1.1. Efectos de la corrosión

Efecto de la composición de los metales

El acero es uno de los metales más usados en los campos petroleros y existen por supuesto, muchas clases de aceros. El acero de bajo carbón es el más universalmente utilizado en las operaciones de producción y de inyección, como líneas, oleoductos y tanques. Sin embargo, en muchos casos se usan aceros que contienen níquel y cromo, y algunas aleaciones que no contienen hierro en varios equipos como bombas y válvulas.

²² UHLIG HERBERT, CORROSIÓN Y CONTROL DE CORROSIÓN, BILBAO, URMO, 1970

Efecto de la composición del agua

Como ya se estableció, la corrosividad del agua se incrementa cuando se incrementa la conductividad. El agua destilada no es muy conductiva y por tanto no es muy corrosiva.

La corrosividad usualmente aumenta cuando decrece el pH del agua. Los valores más altos de pH hacen que la corrosión se vuelva más lenta, puesto que en este caso se tiene más bien un ambiente alcalino.

El oxígeno, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno disueltos en agua incrementan drásticamente la corrosividad. En efecto, los gases disueltos son una de las causas principales de los problemas de corrosión. Si ellos pudieran excluirse y el agua se mantuviese con un pH neutro o más alto, la mayoría de los sistemas de agua se mantendrían con muchos menos problemas de corrosión.

Oxígeno disuelto

De los tres gases mencionados (oxígeno, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno) el oxígeno es el peor en el grupo. Es posible estimar la tasa de corrosión del acero en agua fresca usando la ecuación empírica de Pisigan y Singley, y está basada en la correlación entre la tasa de corrosión y varios parámetros analíticos.

$$mpy = \frac{STD^{0,253} DO^{0,820}}{(10^{SI})^{0,876} Day^{0,373}}$$

Donde

mpy = tasa de corrosión en milipulgadas por año

STD = sólidos totales disueltos, mg/l

DO = concentración de oxígeno disuelto, mg/l

SI = índice de saturación de Langelier

Day = período de exposición del cupón, días.

Si el sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono se hallan disueltos, aún pequeñas cantidades de oxígeno disuelto incrementan drásticamente la corrosividad. La solubilidad del oxígeno en agua es función de la presión, temperatura y contenido de cloruro. El oxígeno es menos soluble en agua salada que en agua fresca.

Si el Ph está por encima de 4 el hidróxido férrico es insoluble y se precipita.

2.5.1.2. Formas de corrosión

La corrosión puede ser uniforme o presentarse en áreas determinadas a lo largo de una tubería o en un sistema.

Corrosión Galvánica

Cuando se ponen en contacto dos metales diferentes en un electrolito, la tasa de corrosión del metal más reactivo se incrementa y la tasa de corrosión del menos reactivo decrece. Esta forma de corrosión se conoce como bimetálica o corrosión galvánica. En un acoplamiento galvánico el metal más reactivo se refiere al ánodo y el menos reactivo al cátodo. Uno de los factores más importantes en la corrosión galvánica es la razón del área expuesta del ánodo al área del cátodo. Si hay una marcada tendencia de un metal para corroer en preferencia de otro, tal como hierro y cobre expuestos en agua salada, el metal menos resistente sufre una corrosión total. Así, remaches de acero en hojas de monel o cobre corroen rápidamente; remaches de monel en acero plateado causan pequeño daño. La corrosión acelerada debido a los efectos galvánicos es usualmente más grande cerca de la unión de los metales.

Corrosión preferencial de soldadura

La corrosión galvánica frecuentemente ocurre en soldaduras o en regiones adyacentes. La corrosión acelerada se ha observado tanto en metal soldado como en regiones adyacentes afectadas por la soldadura. La menor diferencia química entre el material de

soldadura y el tubo se consideran de gran importancia para este problema.

Corrosión influida biológicamente

Es causada por la actividad bacteriana especialmente la que causan las bacterias sulfato – reductoras. Los daños internos pueden resultar de la actividad bacteriana en los sistemas de inyección, los daños externos de superficies desmontadas pueden resultar de la actividad bacteriana en suelos.

2.5.1.3. Métodos de control de la corrosión²³

Existen muchos métodos para controlar o prevenir la corrosión en los sistemas de manipulación de agua, los cuales se clasifican en 6 categorías generales:

Composición del material

La aleación de un acero resistente a la corrosión o un metal no ferroso puede sustituirse por acero al carbón o plástico. Los metales resistentes a la corrosión son más caros que el acero al carbón. Los materiales poliméricos usualmente están sujetos a presiones más severas y limitaciones de temperatura que el metal.

Composición electrolítica

La composición del agua puede ser alterada por cambios en el pH, removiendo los gases disueltos química o mecánicamente o mezclando con otra clase de agua. Estas técnicas son las más usadas en las operaciones de campo.

Alteración física del sistema

El incremento de la cabeza neta positiva de succión (NPSH) para prevenir la cavitación (fenómeno mediante el cual existe presencia de vapor que implosiona al incrementarse la presión en un líquido, generalmente produciendo desgaste en las paredes de la voluta y el

²³ CORROSION, A SERIES OF PAPERS REPRINTED FOR RESEARCH, LONDRES, BUTTERWORKS PUBLICATIONS, 1953.

rodete de la bomba). Además con el aumento o disminución de las velocidades cambiando el diámetro de la línea de flujo.

Aislamiento del metal del electrolito

Las cubiertas de plástico o cinta son comunes en tuberías y tanques, también se usan cubiertas de cemento.

Inhibidores químicos

Son ampliamente usados en el control de corrosión en los sistemas de reinyección en todos los Campos.

Protección catódica

La aplicación de suficiente corriente eléctrica a un metal sumergido en agua detendrá la corrosión, lo cual se puede aplicar si se dispone de una fuente de poder.

2.5.2. DESGASTE²⁴

El desgaste es el daño de la superficie por remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo. Es un proceso en el cual las capas superficiales de un sólido se rompen o se desprenden de la superficie. Al igual que la fricción, el desgaste no es solamente una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema. Los análisis de los sistemas han demostrado que 75% de las fallas mecánicas se deben al desgaste de las superficies en rozamiento. Se deduce fácilmente que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible.

2.5.2.1. Tipos de desgaste

1. *Desgaste por fatiga*. Surge por concentración de tensiones mayores a las que puede soportar el material, incluye las dislocaciones, formación de cavidades y grietas.
2. *Desgaste abrasivo*. Es el daño por la acción de partículas sólidas presentes en la zona del rozamiento.

²⁴ LIPSON CHARLES, IMPORTANCIA DEL DESGASTE EN EL DISEÑO, MÉXICO, CENTRO REGIONAL DE AYUDA TÉCNICA, 1970.

3. *Desgaste por erosión.* Es producido por una corriente de partículas abrasivas, muy común en turbinas de gas, tubos de escape y de motores.
4. *Desgaste por corrosión.* Originado por la influencia del medio ambiente, principalmente la humedad, seguido de la eliminación por abrasión, fatiga o erosión, de la capa del compuesto formado. A este grupo pertenece el Desgaste por oxidación. Ocasionado principalmente por la acción del oxígeno atmosférico o disuelto en el lubricante, sobre las superficies en movimiento.
5. *Desgaste por frotación.* Aquí se conjugan las cuatro formas de desgaste, en este caso los cuerpos en movimiento tienen movimientos de oscilación de una amplitud menos de 100 μm . Generalmente se da en sistemas ensamblados.
6. *Desgaste adhesivo.* Es el proceso por el cual se transfiere material de una a otra superficie durante su movimiento relativo, como resultado de soldado en frío en puntos de interacción de asperezas, en algunos casos parte del material desprendido regresa a su superficie original o se libera en forma de virutas o rebaba.
7. *Erosión.* Ocurre cuando dos superficies metálicas están en contacto en un ambiente corrosivo y están sujetos a vibración u otro movimiento relativo. Los efectos acelerados resultan de la remoción de alguna película protectora de las dos superficies metálicas. Esto ocurre principalmente en partes de máquinas tales como rodamientos, ejes y engranajes.

De la clasificación anterior, se tomarán en cuenta para el diseño: desgaste por erosión y desgaste por corrosión.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

TIPOS DE FILTROS Y SISTEMAS ANÁLOGOS

INTRODUCCIÓN

Actualmente los procedimientos de separación de soluciones y mezclas han alcanzado niveles de tecnificación impresionantes. Existe una gama muy amplia de procesos de separación de líquidos - sólidos, líquidos - líquidos, líquidos - gases y demás combinaciones, sin embargo el propósito del presente estudio es la optimización del equipo para la obtención de agua de formación libre de partículas de arena.

La industria petrolera presenta equipos muy sofisticados que se emplean para separar crudo, gas y agua, pero estos separadores trifásicos y bifásicos por su costo de adquisición, dimensiones, dificultad de instalación y operación no resultan ser rentables para la eliminación de la arena en el agua de formación.

Es necesario un método de separación que sea eficiente exclusivamente en la eliminación de arena del agua de formación, sin que incidan consideraciones químicas (Composición, hidrocarburos disueltos) en los requerimientos de pureza del agua de formación.

El presente análisis cierra las alternativas posibles hasta llegar a la conclusión de que el método óptimo para la separación de arena es el filtrado mecánico de barrera delgada que permite el paso del líquido y detiene las partículas en suspensión.

En el presente capítulo se analizarán las alternativas existentes de filtros y sistemas análogos que serán tomados en cuenta para el diseño de la unidad de filtración.

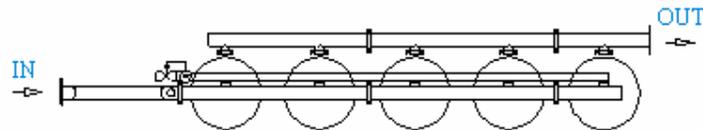
3.1. DISPOSICIÓN DE LOS TANQUES DE FILTRADO

Para la selección de la disposición de los filtros se realizará el estudio de dos alternativas que resultan de igual manera eficientes.

3.1.1. PLANTEAMIENTO DE LAS CONFIGURACIONES DEL SISTEMA DE FILTRADO

Filtros en serie²⁵

Figura 9. Filtros dispuestos en serie



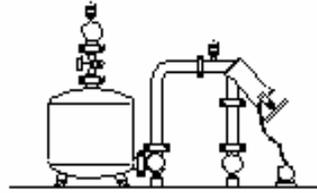
Se ha visto que para las condiciones impuestas al diseño de la unidad de filtración la mejor alternativa de filtrado son los tanques de presión en cuyo interior un elemento de filtrado retenga las impurezas del fluido. Sin embargo, no resulta eficiente ni mucho menos rentable una unidad de filtración con una sola etapa de filtros. Es necesario que el proceso de filtrado se realice en varios pasos, dependiendo de la calidad de agua a la entrada del sistema y de los requerimientos de pureza con los que debe salir.

Puesto que para el siguiente caso el tamaño de las partículas está distribuido dentro de un rango de 2 μm a 100 μm , se considera suficiente un sistema de filtrado de dos etapas.

Entonces se plantea la alternativa de conformar el sistema de filtrado de dos fases, que incluye un tanque con cartuchos con una capacidad de filtrado de 50 μm , seguido por otro tanque de filtros con una capacidad de filtrado de 10 μm (Filtración nominal).

²⁵ [HTTP://WWW.ANDINADERIEGO.COM/ODIS%20FILTROS.FILTROS ARRAYS.HTML](http://www.andinaderiego.com/ODIS%20FILTROS.FILTROS%20ARRAYS.HTML)

Figura 10. Filtro de cartucho seguido por un filtro disco



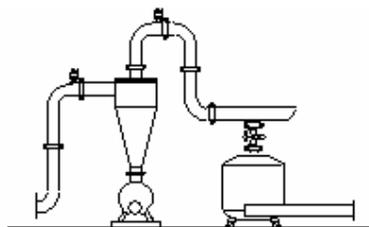
Este arreglo de dos filtros en serie puede ser construido empleando dos tanques de filtrado del mismo tipo.

Para este mismo caso existe la alternativa de conformar el sistema con dos tipos de filtros, los cuales serán abordados en la siguiente sección. El objetivo es conseguir una capacidad de filtrado nominal de 10 μm con rendimientos de hasta el 99,98%.

Hay que tomar en cuenta para este caso que las pérdidas generadas por el proceso en cada tanque son elevadas (Alrededor de 40 psi). Otra consideración importante es el costo de mantenimiento del equipo. Los costos asociados a la sustitución de los cartuchos se elevan demasiado, considerando dos tanques a los cuales se debe dar mantenimiento.

Filtros precedidos por un hidrociclón²⁶

Figura 11. Sistema de filtrado conformado por un hidrociclón seguido por un filtro.



²⁶[HTTP://WWW.ANDINADERIEGO.COM/ODIS%20FILTROS.FILTROS ARRAYS.HTML](http://www.andinaderiego.com/ODIS%20FILTROS.FILTROS%20ARRAYS.HTML)

La alternativa de colocar un hidrociclón justo antes del tanque de filtros resulta la solución más viable tanto en el aspecto técnico, como económico.

El hidrociclón es muy eficiente para la separación de partículas de arena de más de 50 μm de diámetro promedio. Para partículas de menor tamaño tiende a disminuir su capacidad de separación, puesto que su principio de operación se basa en la retención de partículas de mayor densidad que por la fuerza centrífuga a la que están sometidas en el hidrociclón, tienden a desplazarse hacia las paredes del mismo, para luego descender y ser evacuadas por el fondo del hidrociclón.

Luego de que las partículas de más de 50 μm han sido separadas, es mucho más práctico colocar un tanque de filtros con una capacidad de retención más fina. En este tanque se realizará la separación de partículas de arena de menor diámetro. (Hasta 10 μm).

3.1.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Configuración del sistema de filtrado

Para la selección de la configuración más eficiente para el sistema de filtrado se realizará un proceso de análisis y evaluación de alternativas, basado en los siguientes parámetros.

Parámetros de selección de alternativas de la configuración del sistema de filtrado

La configuración del sistema de filtrado es posiblemente el factor más importante que define el rendimiento y confiabilidad de todo el equipo, por lo tanto es necesario evaluar los parámetros que se enlistan a continuación:

Mantenimiento

La mantenimiento del conjunto no solamente representa implicaciones técnicas sino mucho más allá de estas, las implicaciones económicas restringen mucho la implementación de ciertas tecnologías. Es preciso entonces que el mantenimiento del sistema de filtrado no represente impedimentos tecnológicos, se realice en tiempos reducidos siempre al costo más bajo que sea posible.

Eficiencia

La alternativa seleccionada deberá ser aquella que permita la obtención de la mejor calidad de agua que sea posible con el mínimo de complejidad en el equipo. Además deberá presentar características de pérdidas bajas, de tal manera que el uso de la energía necesaria para el funcionamiento del sistema sea el menor posible.

Costo

El costo aproximado de adquisición de los equipos debe ser valorado para seleccionar la alternativa más rentable que presente los mayores beneficios.

Evaluación y selección de la configuración del sistema de filtrado

La evaluación de los parámetros de filtrado obedece a un análisis en cierta forma empírico, pero basado estrictamente en consideraciones técnicas y económicas, de acuerdo al criterio de los autores del presente diseño.

Se evaluarán los parámetros en una escala del 1 al 10. Los valores adoptados dependerán exclusivamente del análisis de documentos técnicos de ciertos fabricantes y la experiencia de técnicos especializados en los procesos analizados que muy amablemente han compartido sus conocimientos con los autores de la presente investigación.

Tabla 5. Evaluación de parámetros de selección de alternativas de configuración del sistema de filtrado.

Parámetro	Tanques de filtrado en serie		Hidrociclón seguido por un tanque de filtrado
	Filtros en serie del mismo tipo	Filtros en serie de dos tipos diferentes	
Mantenimiento	7	8	9
Eficiencia	9	10	10
Costo	9	9	10
Total	25	27	29

La combinación del hidrociclón y del tanque de filtros se considera la alternativa más viable en el aspecto económico y en el aspecto operativo.

La caída de presión generada por el hidrociclón es similar a la de un accesorio de acople de un sistema de bombeo común. Es decir que el sistema de impulsión debe compensar en un porcentaje mayor las pérdidas generadas en el tanque de filtros.

Un hidrociclón no requiere de mantenimiento. Obviamente va a sufrir desgaste por abrasión y corrosión debido a las características del agua de formación, pero este fenómeno produce efectos a largo plazo, y estos daños serán tomados en cuenta en el capítulo de mantenimiento, o al momento de seleccionar el material del hidrociclón. De esta forma el mantenimiento del sistema de filtrado se reduce a la sustitución de los cartuchos de un solo tanque de filtros y posiblemente a la inspección de otros accesorios del sistema de conducción.

3.2. FILTROS

La filtración es un proceso en el cual las partículas sólidas que se encuentran en un fluido líquido o gaseoso se separan mediante un medio filtrante, que permite el paso del fluido a su través, pero retiene las partículas sólidas. Unas veces interesa recoger el fluido; otras, las partículas sólidas y, en algunos casos, ambas cosas.²⁷

²⁷ [HTTP://WWW.USFILTER.COM](http://www.usfilter.com)

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

- Consideraciones físicas del fluido de trabajo. (Para el caso actual, agua de formación con arena en suspensión)
- Tipo de elemento filtrante
- Dispositivo o carcaza que soporte el elemento filtrante.
- La fuerza impulsora o la diferencia de presiones que induce al agua de formación a moverse a través del sistema.

Pero no se pueden analizar dichos parámetros en forma individual, a menos que se pretenda realizar un diseño más profundo que abarque también a los elementos de filtrado. Por esta razón se ha optado no por el diseño del sistema de filtrado, sino por la selección correcta de un equipo ya disponible en el mercado actual.

De esta forma, las características el agua de formación imponen las condiciones que debe satisfacer el elemento filtrante, que ha sido diseñado en conjunto con su carcaza que en realidad es un tanque de presión. Y el sistema en sí requiere de una presión diferencial que debe ser provista por un equipo externo, en este caso una bomba centrífuga.

3.2.1. MEDIOS FILTRANTES

Se pueden dividir en dos grupos:

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

Entre los primeros, se encuentran los filtros de tela, los de criba y el papel de filtro común de los laboratorios.

Entre los segundos, se mencionan los filtros de lecho de arena, los de cama de coque, de cerámica porosa, metal poroso y los de precapa empleados en ciertas filtraciones industriales que contienen precipitados gelatinosos.

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

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

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

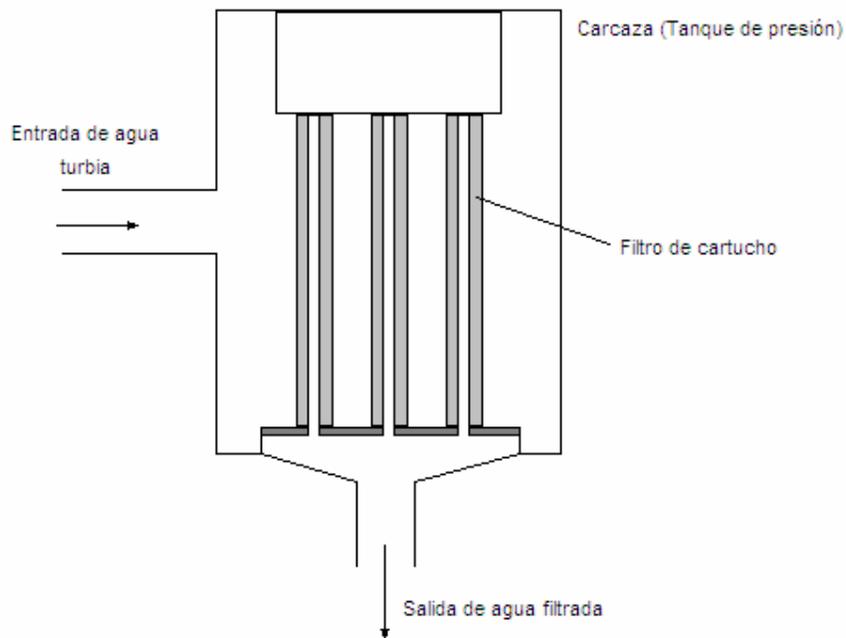
3.2.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Filtros de cartucho

Figura 12. Filtros de cartucho en diferentes tamaños y formas



Figura 13. Esquema de un filtro de cartucho



Son una alternativa de filtrado eficiente y muy económica en un amplio rango de aplicaciones.²⁸

Estos cartuchos filtrantes a nivel industrial se emplean para remover de un fluido partículas en suspensión, donde la filtración nominal es muy importante.

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

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

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

²⁸ BOLETÍN US FILTRES N: LO-AF-CA-0101

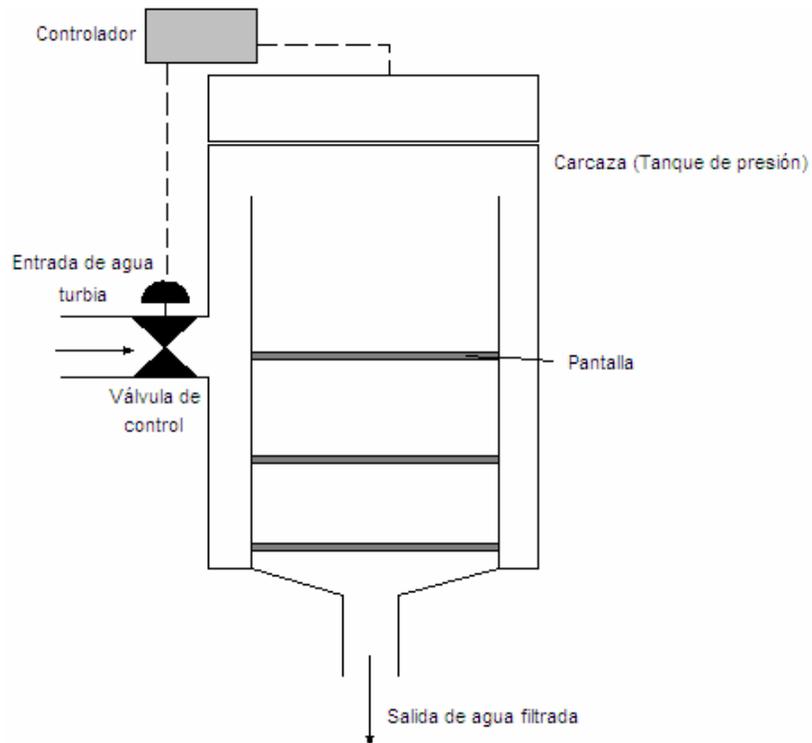
El rango de retención varía desde 0,5 a 100 micras de diámetro promedio de las partículas en suspensión, con una eficiencia de filtrado del 90 al 95%, existiendo también cartuchos con una eficiencia mayor.

Filtros automáticos de circulación continua

Figura 14. Ejemplo de filtro automático de circulación continua. (ODIS)



Figura 15. Esquema de un filtro automático de circulación continua



Diseñados exclusivamente para circulación continua de fluido en la pantalla y como filtros de control en sistemas usados para la agricultura.²⁹

Filtros autolimpiantes, sin incremento en la pérdida de cabezal

Alta durabilidad, empleado en las condiciones más extremas.

Incluye control de chorro activado a intervalos de tiempo predeterminados para eliminar residuos en la cámara colectora.

Disponibles en flujos de trabajo desde 30 a 2201 gpm, con una presión de trabajo recomendable de 120 psi, siendo la presión máxima soportable de 150 psi.

Filtros de disco

Figura 16. Ejemplo de filtro de disco (ODIS)



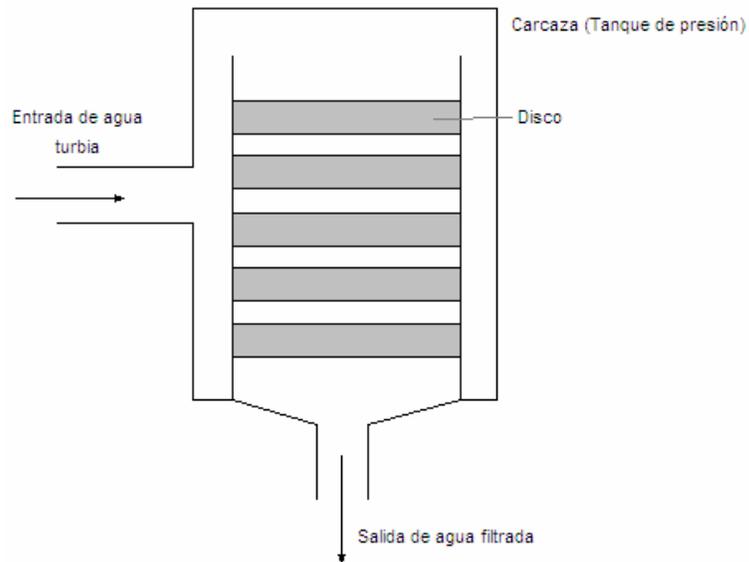
Discos plásticos con surcos especiales apilados juntos formando el elemento filtrante con un área de filtrado efectiva más larga. Los sedimentos se detienen en la superficie exterior del elemento de filtrado.

Equipado con válvula de drenaje y dos puertos de prueba de presión para probar la pérdida de cabezal entre la entrada y salida del filtro, sin interferir con el fluido de agua

²⁹ [HTTP://WWW.ANDINADERIEGO.COM/ODIS%20FILTROS.ODIS - AUTOMATICO DE CIRCULACION 8000.HTML](http://www.andinaderiego.com/ODIS%20FILTROS.ODIS-AUTOMATICO%20DE%20CIRCULACION%208000.HTML)

Pueden soportar hasta 350 gpm, a una presión nominal de trabajo de 120 psi.

Figura 17. Esquema de filtro de disco



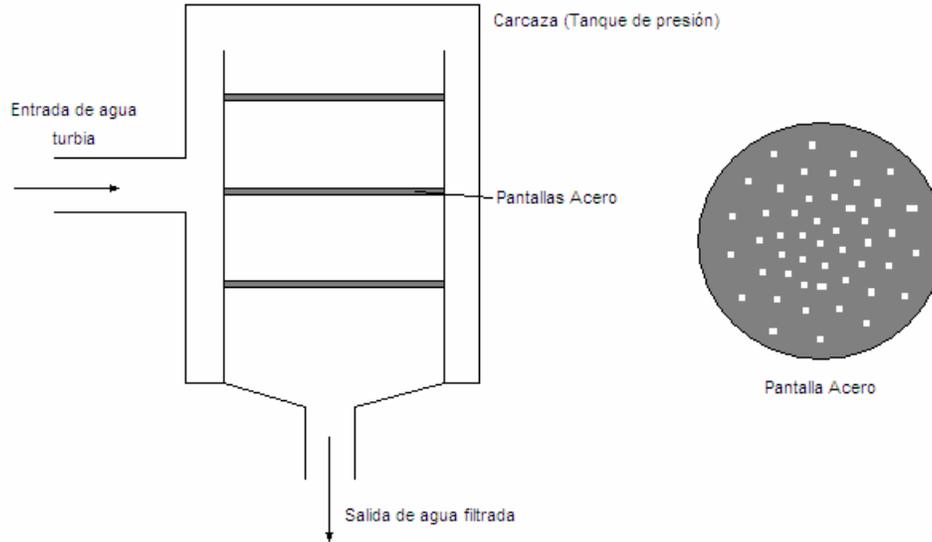
Filtros de pantalla³⁰

Figura 18. Ejemplos de filtros de pantalla



³⁰ [HTTP://WWW.ANDINADERIEGO.COM/ODIS%20FILTROS.ODIS - PANTALLA CONTROL SERIES 1000 & 2000.HTML](http://www.andinaderiego.com/ODIS%20FILTROS.ODIS-PANTALLA%20CONTROL%20SERIES%201000%20Y%202000.HTML)

Figura 19. Esquema de un filtro de pantalla



Utilizado como filtro de control en agricultura
Adaptado para filtrar pequeñas cantidades de impurezas
Para uso doméstico, sitios en construcción e industria
Soportan hasta 120 gpm
Presión de trabajo: 120 psi.
Dos pantallas de acero inoxidable para doble protección.
Equipados con válvula de drenaje y dos puertos de prueba de presión para probar la pérdida de cabezal en la entrada y salida del filtro, sin interferir con el fluido del agua.

Filtro hidráulico³¹

Figura 20. Filtro hidráulico ODIS Serie 850



³¹ [HTTP://WWW.ANDINADERIEGO.COM/ODIS%20FILTROS.ODIS - ODISMATIC HIDRAULICO 850.HTML](http://www.andinaderiego.com/ODIS%20FILTROS.ODIS-ODISMATIC-HIDRAULICO-850.HTML)

Consiste en un sistema de filtrado por filtros de pantalla, con un sistema de control interno que invierte el flujo de agua para producir un auto lavado.

Es un sistema de filtro auto-limpiante, que ofrece la más eficiente solución en filtrado de agua.

Como el motor del filtro es operado por la presión del agua en línea, no necesita energía externa

Características

- Operación totalmente independiente
- Alta eficiencia de la pantalla mientras mantiene baja la pérdida de cabezal
- Rango de capacidad de filtrado desde 10 hasta 5000 gpm (2-1100 m³/h) por pantalla de acero inoxidable
- Rango de presiones: De 30 a 150 psi.
- Rango de temperaturas: De 0 a 50° C.
- Auto-limpieza automática y eficiente con bajo consumo de agua durante la operación sin interrumpir el fluido de agua filtrada
- Confiabilidad: mantiene un alto filtrado en todos los rangos de fluido
- Baja pérdida de cabezal
- Sistema automático de auto-limpieza
- Bajo costo de mantenimiento

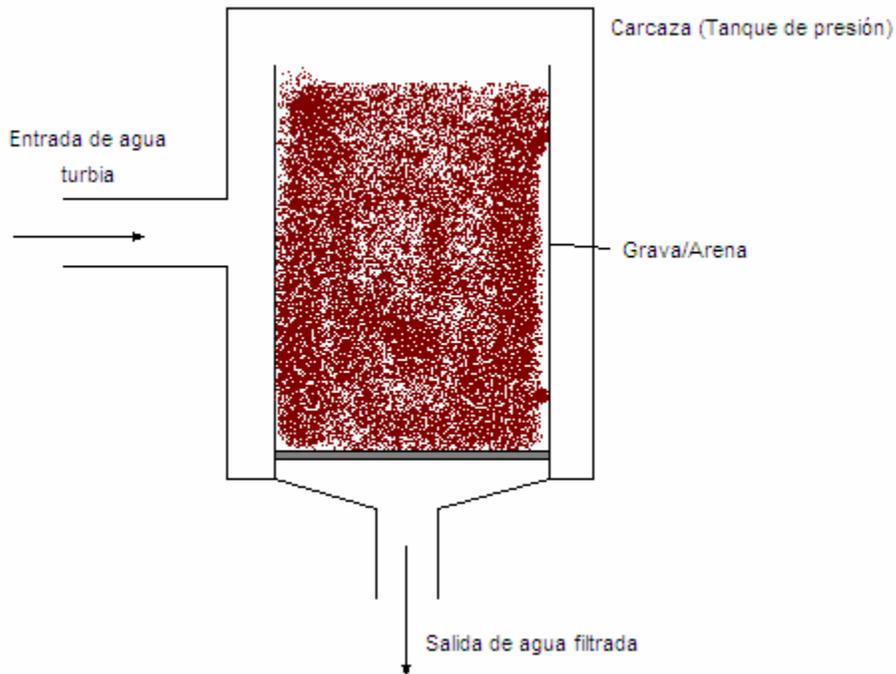
Filtros de grava/arena³²

Figura 21. Ejemplos de filtros de grava/arena



³² [HTTP://WWW.ANDINADERIEGO.COM/ODIS%20FILTROS.ODIS - GRAVA ARENA 4000.HTML](http://www.andinaderiego.com/ODIS%20FILTROS.ODIS-GRAVA%20ARENA4000.HTML)

Figura 22. Esquema de un filtro de grava/arena



Más eficientes para el filtrado de agua pesada contaminada con algas, materia orgánica y otras impurezas, como de reservorios abiertos y sistemas de agua recicladas.

Utilizan un diseño único basado en una cámara doble superior, dividida por un plato de acero cubierta con difusores "hongos". Estos difusores dispersan el agua eventualmente, usando efectivamente el volumen entero del filtro, y evitando así el acanalamiento o apelmasamiento.

Los filtros Series 4000 son particularmente convenientes para contracorriente.

- Utilizado como filtro primario de agua desde reservorios abiertos y agua reciclada
- Más efectivo para filtración de agua pesada contaminada con algas y material orgánico
- Presión máxima: 150 psi.
- Flujos de 15 a 739 gpm.

Tabla 6. Cuadro comparativo de las características técnicas de los diferentes tipos de filtros

Filtro	Rango de Filtrado (gpm)	Presión de operación (psi)	Temperatura de operación (°C)	Limpieza
Filtros de cartucho	Hasta 5 gpm/10 in de cartucho	Hasta 150 psi	Hasta 200	Manual, luego de desarmar la carcaza
Filtros automáticos de circulación continua	30 - 2201	120 - 150	Ambiente	Automática
Filtros de disco	Hasta 350	120 - 150	Ambiente	Manual, luego de desarmar la carcaza
Filtros de pantalla	Hasta 1320	120 - 150	Ambiente	Manual
Filtro hidráulico ODIS Serie 850	10 - 5000	30 - 150	0 - 50	Automática
Filtros de grava/arena	15 - 739	120 - 150	Ambiente	Manual

3.2.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE FILTRADO

El proceso de selección a realizarse a continuación se desarrollará basado en la evaluación de la viabilidad de la utilización de cada una de las alternativas de filtrado mencionadas en el apartado anterior.

Los criterios elegidos para ser ponderados obedecen estrictamente a consideraciones técnicas de los filtros y de los parámetros funcionales exigidos al equipo, así como a consideraciones económicas, orientadas básicamente al análisis de los costos de adquisición, de operación y mantenimiento.

3.2.4. PARÁMETROS DE SELECCIÓN

Capacidad de retención y rendimiento

Se refiere expresamente a los rangos de los diámetros promedio de las impurezas y demás partículas en suspensión disueltas en el agua de formación. Para el caso actual se debe elegir un filtro con capacidad de filtrar partículas de un diámetro promedio de 30 μm .

El rendimiento de filtrado se orienta hacia el estudio estadístico de una muestra de partículas retenidas en un filtro. Para la evaluación de este parámetro se considerará el coeficiente β de retención, con un valor de comparación igual a 5000.

Disponibilidad de compra y de adquisición de repuestos.

Es un factor muy importante que determina la decisión de compra de los elementos de filtrado que serán elegidos para el diseño de la unidad de filtración. Se considerará para la evaluación de este factor la posibilidad de adquirir estos elementos en la ciudad de Quito, la disponibilidad en stock y las proyecciones de venta de los productos.

Costo

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

Tamaño

El tamaño de los equipos siempre es una restricción para toda instalación industrial. Por este motivo se debe optimizar el espacio físico requerido por el equipo, así como su peso, puesto que no solamente es importante el espacio que va a requerir para su

instalación y funcionamiento, sino que al ser un equipo móvil, existen también restricciones de transporte.

Parámetros operacionales

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

Operación y mantenimiento

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

3.2.5. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

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

Tabla 7. Evaluación de los parámetros de selección de alternativas de filtros

Parámetros	Filtros de cartucho	Filtros automáticos de circulación continua	Filtros de disco	Filtros de pantalla	Filtro hidráulico ODIS Serie 850	Filtros de grava/arena
Capacidad de retención y rendimiento	10	10	10	10	10	8
Disponibilidad de compra y adquisición de repuestos	9	7	9	9	6	9
Costo	9	6	8	8	4	9
Tamaño	9	8	9	9	8	6
Parámetros operacionales	10	9	9	9	7	9
Operación y mantenimiento	10	9	10	10	9	10
Total	57	49	55	55	44	51

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

Los filtros de cartucho en un espacio reducido presentan una capacidad de retención desde 0,5 micras en adelante, con un rendimiento equivalente a un $\beta = 5000$, lo cual indica que de 5000 partículas, existe la posibilidad de que únicamente pase a través del filtro una sola.

Además los filtros de cartucho son empleados en una gran variedad de aplicaciones industriales (Industria química, alimenticia, purificación de agua para consumo humano) que actualmente se desarrollan en la región, por lo cual existen empresas que los comercializan en grandes cantidades e incluso podrían proveer dichos productos bajo pedido con tiempos de entrega inferiores a un mes.

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

Los cartuchos tienen una característica muy importante: pueden ser lavados si se invierte el flujo utilizando agua pura. Es decir, pueden ser lavados y se desecharían luego de ser reutilizados varias veces. Y un punto adicional es que el tanque de presión que los soporta está diseñado de tal forma que la extracción de los cartuchos es un trabajo muy sencillo.

3.2.6. DESCRIPCIÓN DE LOS FILTROS DE CARTUCHO

De este tipo de elementos de filtración existe también una gran variedad de fabricantes y por supuesto se pueden encontrar filtros en un amplio rango de calidades.

Por cuestiones de disponibilidad se analizarán las características de los filtros de cartucho Parker.

Filtros de cartucho Fulflo Ecobond³³

Los filtros de cartucho Fulflo Ecobond son los filtros de alto rendimiento más económicos disponibles actualmente.

Se construyen en una matriz de fibras de polipropileno de elevada densidad, proporcionando excelente retención de filtrado para una amplia gama de fluidos. La estructura de las porosidades provee eficiencia integral y una óptima retención de partículas.

No presentan surfactantes en su estructura, además de mantener la misma estructura en sus extremos, lo cual asegura una óptima

³³ BOLETÍN PARKER C – 1320 EFF. 11/99, REV 03/04

pureza del fluido y se elimina la posibilidad de la generación de u otros efectos indeseables en el filtrado.

Las capas del filtro están pegadas entre si, eliminando la descarga de contaminantes y el acanalamiento.

Figura 23. Filtros de cartucho Fulflo Ecobond (Longitudes de 10, 20, 30, 40 in)



Este tipo de cartuchos están disponibles para los siguientes tamaños nominales de partículas: 1 μm , 5 μm , 10 μm , 25 μm , y 50 μm , con un rendimiento de filtrado del 90%.

El polipropileno utilizado ha sido aprobado por la FDA, certificado por la norma ANSI / NSF61, para elementos que se encuentran en contacto con agua de consumo humano, y en general el material permite un alto nivel de compatibilidad química para una gran variedad de aplicaciones.

Además, la estructura conformada por un solo material simplifica las opciones de compatibilidad, facilitando el desecho de los cartuchos.

Es importante también rescatar que el proceso de construcción de los filtros se realiza a temperaturas elevadas, por lo que la compactación se realiza con el material fundido, otorgando una extraordinaria estabilidad al producto.

Las dimensiones de los filtros están estandarizadas, según la tabla mostrada a continuación.

Tabla 8. Dimensiones nominales de los cartuchos.

Dimensión	Valor
Diámetro interno (in)	1 1/16
Diámetro externo (in)	2 2/16
Longitudes nominales (in)	10, 20, 30, 40, 50

Filtros de cartucho Poly Mate³⁴

Los filtros de cartucho Poly Mate, presentan una excelente calidad a un costo bastante razonable. Han sido diseñados para satisfacer las necesidades actuales dentro de procesos críticos.

Construidos con una única combinación de polipropileno fundido y malla, proporcionan una gran área superficial, evitando el desprendimiento de las fibras. Se construyen como elementos integralmente sellados

Su ciclo vital es más largo, la caída de presión más baja y los flujos que soportan mucho mayores.

Pueden ser lavados empleando un proceso de retroalimentación del fluido limpio, lo cual reduce su reemplazo y pos supuesto los costos de sustitución.

³⁴ BOLETÍN PARKER C – 2040 EFF. 7/94

Los rangos de filtrado de este tipo de filtros con una eficiencia del 99% es de: 0,5 μm , 1 μm , 5 μm , 10 μm y 30 μm , empleando un área efectiva de filtrado de más de 6,8 ft^2 por cada 10 in de longitud.

La composición de los filtros (polipropileno), los hacen resistentes a agentes químicos, como ácidos, bases, sales y la mayoría de solventes orgánicos.

Figura 24. Filtros de cartucho poly mate



Tabla 9. Dimensiones de los filtros Poly Mate

Dimensión	Magnitud
Diámetro interior (in)	1
Diámetro exterior (in)	2 1/2
Longitud nominal (in)	9, 10, 19, 20, 29, 30, 40

Tanques de presión Fulflo³⁵

Un tanque de presión es el elemento mecánico que soporta los filtros de cartucho. La configuración interior de los tanques permite que los filtros trabajen de su exterior al interior.

³⁵ BOLETÍN PARKER C – 3070 EFF. 8/97, REV. 08/02

Pueden ser contruidos en acero al carbono o en acero inoxidable 304 y 316.

Soportan una gran variedad de fluidos líquidos y gases para flujos de hasta 2040 gpm.

Figura 25. Tanque de presión porta cartuchos Fulflo



Todos los detalles de diseño y construcción se realizan bajo el código ASME para tanques de presión.

Pueden utilizarse para contener filtros de cartucho de 10, 20, 30 y 40 in de longitud.

Los anillos de sello empleados en el montaje de los tanques soportan temperaturas de hasta 261° C.

El diseño de la tapa superior permite un acceso sencillo y rápido para sustituir los cartuchos.

Diseñados para soportar presiones de 150 psi y de 300 psi.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA DE FILTRADO

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a los objetivos planteados, se busca lograr un diseño de unidad de filtración altamente eficiente, por lo cual los componentes del sistema de filtrado deben presentar características de rendimiento y calidad altos.

El componente principal del sistema de filtrado es en realidad el tanque de presión que soporta los filtros de cartucho, pero si se busca incrementar la calidad de retención de los filtros, los cartuchos únicamente satisfacen los requerimientos mínimos operacionales del sistema.

Por este motivo se han analizado otras alternativas como la implementación de un sistema de filtrado por etapas, con filtros de cartucho de diferentes capacidades de retención, o la utilización de filtros diferentes con tecnología mucho más sofisticada, llegando a la conclusión de que no es viable tanto en el aspecto técnico como en el económico diseñar un equipo muy complejo, puesto que existirían consideraciones de mantenimiento e incluso de diseño y construcción que superarían las posibilidades de realización.

Se ha visto que la tecnología actual de diseño y construcción de hidrociclones, a pesar de ser muy sencilla, y que en cierta forma obedece a interpretaciones empíricas de fenómenos reales observados, además de experimentos controlados realizados en la industria, presenta todas las facilidades necesarias para ser implementada en el diseño de la unidad de filtración.

Concretamente, el sistema de filtración del equipo, será conformado por un hidrociclón, que por sus características, logrará separar totalmente las partículas de mayor tamaño. Conforme decrece el tamaño de las partículas, y siguiendo el patrón de funcionamiento de un hidrociclón (gráfica 8), las partículas de menor tamaño serán separadas en un porcentaje menor.

Para las partículas más pequeñas que permanezcan aun en suspensión, se colocará a continuación del hidrociclón un tanque de baja presión con filtros de cartucho.

De esta forma se asegura el correcto funcionamiento del sistema y se reduce de manera significativa el mantenimiento de los filtros, que si bien pueden ser lavables, es recomendable su sustitución si se espera un funcionamiento óptimo del equipo y una elevada calidad de agua a la salida del sistema.

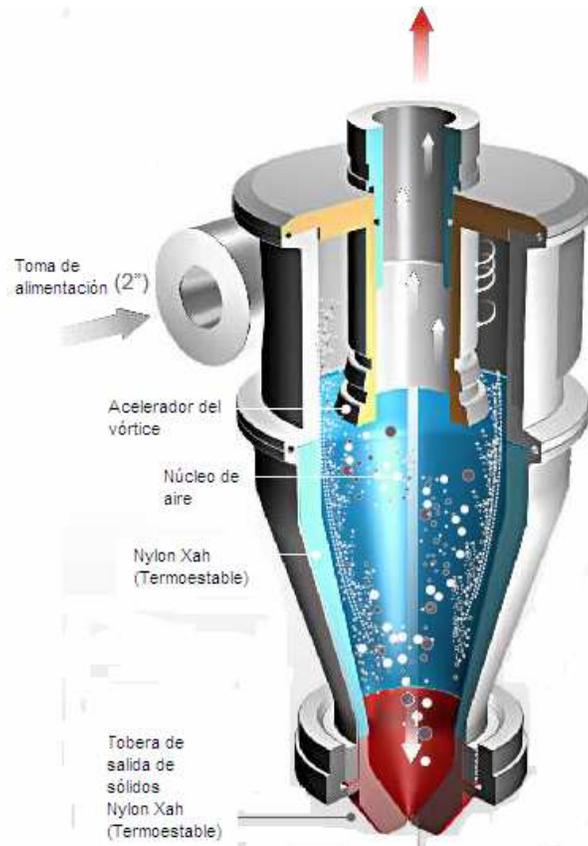
4.1. SELECCIÓN DEL HIDROCIKLÓN

Como se ha especificado anteriormente, la separación producida en un hidrociclón se debe a las fuerzas centrífugas creadas en un sistema de flujo continuo rotacional dentro del cual, las partículas en suspensión con una densidad mayor que el fluido, se ven afectadas por dichas fuerzas hacia el exterior de la trayectoria del fluido cuando éste se mueve dentro de un cilindro (figura 26).

Las partículas de mayor densidad que se mueven junto a las paredes del cilindro tienden a descender hacia el ápice del hidrociclón por donde son eliminadas hacia un tanque.

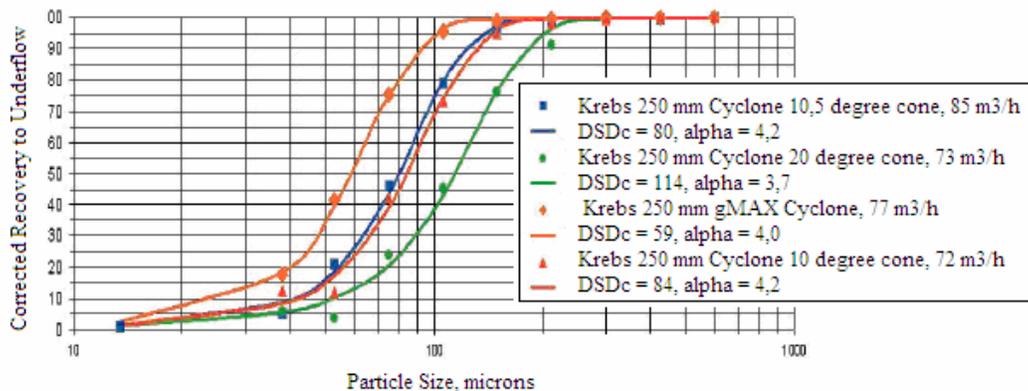
El fluido limpio que se mueve en el vórtice al contrario empieza a salir por la parte superior del hidrociclón por una tobera que se encuentra en el centro. Sin embargo, un hidrociclón no tiene la capacidad de separar partículas sólidas muy pequeñas, debido a que las fuerzas creadas sobre éstas no son lo suficientemente fuertes como para que suceda el mismo fenómeno que con una partícula de mayor tamaño.

Figura 26. Esquema de funcionamiento de un hidrociclón desarenador.³⁶



La capacidad de retención de un hidrociclón obedece a un patrón según el cual existe un rango de tamaños de partículas que son separadas totalmente por un hidrociclón. Bajo este límite, existe una curva que describe el comportamiento del hidrociclón.

Gráfica 8. Capacidad de separación de un hidrociclón vs. Tamaño de partículas.³⁷



³⁶ VORTEX VENTURES, INC., HYDROCYCLONE OPERATION, MODEL V V-ST-4

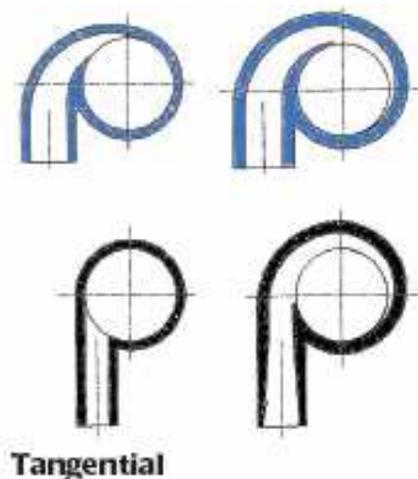
³⁷ BOLETÍN KREBS INDUSTRIES. # 4 – 204

Obviamente la curva que describe este comportamiento depende del fabricante y de las características específicas de cada hidrociclón.

La selección del hidrociclón para el presente caso requiere de una capacidad de retención de partículas de tamaño inferior a 50 μm para incrementar la vida útil de los filtros.

Además, se ha visto necesario tomar en cuenta una característica muy importante en los hidrociclones: la turbulencia a la entrada del fluido.

Figura 27. Esquemas de entrada de fluido al vórtice de hidrociclones.³⁸



La mayoría de fabricantes de hidrociclones los construyen con una entrada tangencial como se muestra en la Figura 27. Para seleccionar el hidrociclón, se analizará el diseño de la toma de entrada, que debe presentar una trayectoria suavizada, como en los esquemas de dicha figura.

Además en el capítulo uno se realizó un análisis de los efectos que los componentes del agua de formación pueden causar a los elementos metálicos que conforman el sistema.

Debe evitarse el uso de materiales ferrosos de bajo carbono, puesto que existen efectos de corrosión y abrasión muy usuales en el manejo de agua de formación.

³⁸ BOLETÍN KREBS INDUSTRIES. # 4 – 204

Por este motivo se consideran materiales como aceros inoxidable de alta dureza, o materiales con tratamientos superficiales, sin embargo, existe otra alternativa más eficiente y económica: la utilización de hidrociclones contruidos de polipropileno, material que presenta una alta estabilidad química para el manejo de sustancias altamente corrosivas y reactivas, además de una dureza suficientemente alta para soportar el desgaste por erosión al cual estaría sometido.

Tomando en cuenta estos antecedentes, se seleccionó el hidrociclón Spintop Hydrocyclone de 4" MODELO V V - ST – 5, de la casa Vortex Ventures, que debe operar a presiones de 40 a 50 psi y soporta un caudal de 200 gpm. La capacidad de separación es de partículas de hasta 15 μm .

4.2. SELECCIÓN DEL FILTRO

Al ser el agua de formación el fluido de trabajo, sus características serán el factor fundamentalmente influyente en la selección del filtro a implementarse en el sistema. Por tanto, deberán ser tomadas en cuenta como principales, las siguientes observaciones:

- Consideraciones físicas
- Tipo de elemento filtrante
- Carcasa
- Tubería

Explicadas a continuación:

4.2.1. CONSIDERACIONES FÍSICAS

Es importante determinar las características que imponen las condiciones que debe satisfacer el elemento filtrante. Serán analizados dos aspectos primordiales, la composición del fluido de trabajo, y el tamaño de las partículas sólidas suspendidas en el mismo.

Composición del agua de formación

Los elementos de mayor influencia serán los precipitados insolubles presentes en el agua de formación, tales como, cloruro sódico, carbonato, bicarbonato, sulfato de calcio, sulfato de magnesio, óxidos de hierro, sulfato de bario, sulfato de estroncio y dióxido de silicio, entre otros.

Además, es imprescindible tomar en cuenta los elementos cuya presencia implica aumento de la corrosividad del material, como son el oxígeno, el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono principalmente.

Tamaño de las partículas sólidas suspendidas en el agua

Como se explicó anteriormente, previo a este sistema, será instalado un dispositivo (hidrociclón), que se encargará de extraer las partículas de mayor tamaño, específicamente de un tamaño mínimo de 15 micras. Por tanto, este sistema adjunto de filtrado será diseñado para retener un tamaño mínimo de partículas de diez micras (10 μm).

4.2.2. TIPO DE ELEMENTO FILTRANTE

El mismo tamaño de las partículas que deberán ser filtradas define el tipo de elemento filtrante a utilizarse, teniendo este que formar una barrera delgada que permite el paso del fluido limpio³⁹ y no de las partículas sólidas en suspensión. Dentro de este grupo se encuentra la alternativa más viable, tanto por sus características técnicas, como por la facilidad económica que brinda, ésta es el filtro de cartucho.

El tamaño nominal de partículas será 10 μm , con un rendimiento de filtrado del 90%.

³⁹ EL TÉRMINO LIMPIO IMPLICA QUE EL AGUA FILTRADA DEBE PRESENTAR UNA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE 30 PPM.

Cada filtro tendrá las siguientes especificaciones brindadas por el fabricante:

- Caudal de trabajo: 5 gpm cada 10 in de cartucho
- Diámetro interno: 1 1/16 in
- Diámetro externo: 2 2/16 in
- Longitud nominal: 30 in

4.2.3. CARCASA

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

Serán instalados 15 filtros de cartucho para cumplir con los 200 gpm impuestos anteriormente. Entonces, la carcasa, diseñada y proporcionada por el mismo fabricante, tendrá las siguientes características:

- Diámetro nominal: 18 in
- Longitud total (altura): 67 in
- Número de filtros de cartucho: 15
- Peso: 100 Kg

4.3. TUBERÍA

Las tuberías serán los elementos que cumplen la función de permitir el transporte del agua en forma eficiente.

Se considerarán 4 factores fundamentales, el diámetro de la tubería, la presión de trabajo, el caudal de trabajo y el material de la tubería.

Diámetro de la tubería

Considerando la disponibilidad en el mercado, además de la posibilidad que presenta el sistema para seleccionar cualquier tipo y tamaño de tubería, además del aspecto económico, también determinante, se escogerá una tubería de 4 pulgadas de diámetro en todos los tramos del sistema.

Presión de trabajo

Los diferentes dispositivos que componen el sistema, bomba, separador y filtro, además de las aplicaciones de campo del mismo, requieren una presión de trabajo dentro de un intervalo de 30 a 50 psi.

Caudal de trabajo

Debido a los requerimientos de la aplicación, detallados en el primer capítulo, el sistema operará alrededor de 2 horas diarias, los siete días de la semana, es decir, no se trata de un proceso continuo, por tanto, para cubrir el volumen requerido en un campo petrolero, el caudal de trabajo será de 200 gpm.

Material de la tubería

Las tuberías se construyen en diversos materiales en función de consideraciones técnicas y económicas.

Suele usarse, como materiales más comunes, el acero, el polipropileno y el PVC.

Para la presente aplicación, es práctico y más conveniente el uso de tuberías de PVC, ya que están disponibles en el mercado y cumplen con los requerimientos antes señalados.

Por tanto, la tubería a usarse, tendrá las siguientes características:

- Diámetro: 4 in
- Presión de trabajo (disponible): 150 psi

CAPÍTULO 5

DISEÑO DEL SISTEMA DE IMPULSIÓN

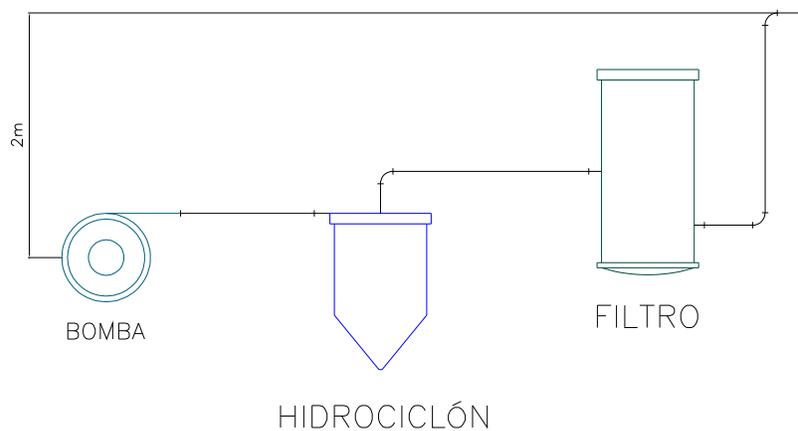
INTRODUCCIÓN

En presente capítulo se especifica el proceso de selección de la bomba, su sistema mecánico de impulsión, así como el cálculo de las variables necesarias para su funcionamiento.

5.1. SELECCIÓN DE LA BOMBA

Es necesario tener un esquema del sistema de impulsión para poder realizar los respectivos cálculos.

Figura 28. Esquema del sistema de impulsión



5.1.1. CÁLCULOS DE PÉRDIDAS

Es necesario realizar el cálculo de las pérdidas de carga producidas en todos los elementos con el fin de definir los requerimientos del sistema de impulsión.

Pérdidas en la tubería

Las pérdidas de carga en la tubería fueron calculadas de la siguiente manera:

$$H_t = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$f = 0,0215^{40}$$

$$L = 40 \text{ in (esta longitud se obtiene a partir del plano de montaje)}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2}$$

$$V = \frac{4 \cdot 200 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{3.75 \text{ lit}}{1 \text{ gal}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lit}}}{\pi \cdot \left(4 \text{ in} \cdot \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}}\right)^2} = 1,54 \text{ m/s}$$

$$H_t = 0,0215 \frac{40 \text{ in}}{4 \text{ in}} \frac{1,54^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,026 \text{ m}$$

Pérdidas en los accesorios

Las pérdidas de carga en los accesorios fueron calculadas de la siguiente manera:

$$H_a = K \frac{V^2}{2g}$$

$$V = 1,54 \text{ m/s}$$

$$K = K_c \cdot f$$

$$K_c = 0,6^{41}$$

$$f = 0,0215$$

$$K = 0,0129$$

$$H_a = 2 \cdot 0,0129 \cdot \frac{1,54^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,003 \text{ m}$$

⁴⁰ EL FACTOR DE FRICCIÓN f ES PROPORCIONADO POR EL FABRICANTE. HIDROPLASTRO S.A.

⁴¹ IRVING SHAMES, MECÁNICA DE FLUIDOS, MC GRAW HILL INTERAMERICANA S.A., BOGOTÁ – COLOMBIA, 1995

Pérdidas en los equipos

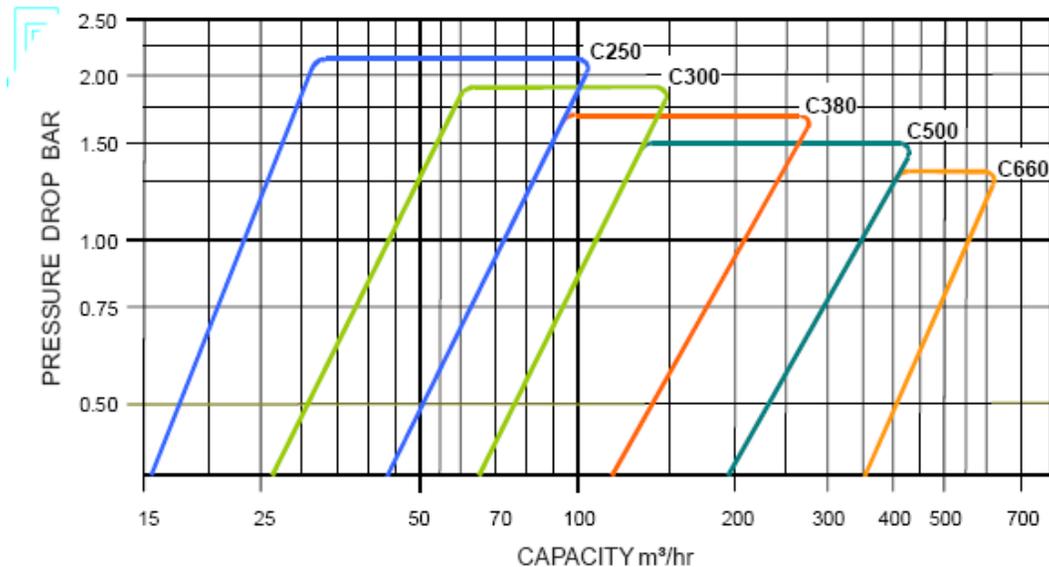
Las pérdidas de carga en los equipos fueron calculadas a partir de la caída de presión de cada uno de ellos.

Hidrociclón

La caída de presión del hidrociclón se obtiene a partir de una gráfica de comportamiento (Caída de presión vs. Capacidad hidráulica) de un hidrociclón de 350 mm de diámetro (gráfica 9).

Estableciendo una capacidad hidráulica de 2000 barriles por día (45 m³/h), debido a la naturaleza del proceso y necesidades de operación en los requerimientos de un campo petrolero, se obtiene un valor de caída de presión de 10 psi.

Gráfica 9. Curvas de comportamiento de hidrociclones de diferentes diámetros⁴²



Con este valor, se procedió a calcular la pérdida de carga en este dispositivo, de la siguiente manera:

$$H_{hid} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$
$$H_{hid} = \frac{10 \text{ psi} \cdot \frac{1 \text{ Pa}}{1,4504 \times 10^{-4} \text{ psi}}}{997,1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 7,06 \text{ m}$$

⁴² WWW.FLOATEX.COM.UK

Unidad de filtración (tanque de filtros)

La caída de presión del tanque de filtros viene dada por las características de tamaño, forma y número de filtros de cartucho que contiene la carcasa en su interior, por tanto, es proporcionada directamente por el fabricante.

$$H_{filtr} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$
$$\Delta P = 233,611 Pa$$
$$H_{filtr} = \frac{233,611 Pa}{997,1 \frac{Kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,024 m$$

Pérdidas totales

Las pérdidas totales se obtienen de la suma de las pérdidas de tubería, accesorios y equipos:

$$H_T = H_t + H_a + H_{hid} + H_{filtr}$$
$$H_T = 0,026 m + 0,003 m + 7,06 m + 0,024 m$$
$$H_T = 7,113 m$$

Cálculo de la CSNP

Al ser las pérdidas de carga debido a la fricción en la tubería de succión, despreciables, la CSNP se reduce a la suma de la presión de vapor del agua y la elevación de de succión estática:

$$CSNP = H_{se} + \frac{P_v}{\rho \cdot g}$$

Debido a las características que presenta el diseño, la elevación de succión estática se reduce a cero (0). Entre tanto, la presión de vapor del agua a 25°C se eleva a 3,169 KPa⁴³.

$$CSNP = 0 + \frac{3,169 KPa \cdot \frac{1000 Pa}{1 KPa}}{997,1 \frac{Kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}$$
$$CSNP = 0,324 m$$

⁴³ CENGEL BOLES, TERMODINÁMICA, MC GRAW – HILL, 1996 (TABLA TERMODINÁMICA DE AGUA SATURADA)

5.1.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA HIDRÁULICA

Mediante la aplicación de la ecuación de la energía, es posible calcular la presión que ejercerá la bomba sobre el fluido, y posteriormente, la potencia al mismo:

$$P_1 + z_1 \cdot \rho \cdot g + H_b \cdot \rho \cdot g = P_2 + z_2 \cdot \rho \cdot g + H_T \cdot \rho \cdot g$$

En donde,

$$P_1 - P_2 = 0,$$

ya que tanto la entrada como la salida se encuentran a la presión atmosférica.

Entonces:

$$H_b \cdot \rho \cdot g = (H_T + z_2 - z_1) \cdot \rho \cdot g = (7,113m + 2 - 0) \cdot 997,1 \frac{Kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{1 KPa}{1000 Pa} = 89,05 KPa$$
$$P_{FLUIDO} = H_b \cdot \rho \cdot g \cdot Q = 1.11 KW (1,49 HP)$$

5.1.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA AL EJE

La potencia al freno estará determinada por la eficiencia de la bomba⁴⁴, de la siguiente manera:

$$P_{FRENO} = \frac{P_{FLUIDO}}{\eta_{BOMBA}} = \frac{1110W}{0,85} = 1310W (1,75 HP)$$

5.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE LA BOMBA A UTILIZARSE PARA IMPULSAR EL AGUA DE FORMACIÓN HACIA EL SISTEMA DE FILTRADO

Existen varias consideraciones técnicas muy importantes que deben tomarse en cuenta al momento de seleccionar el elemento que impulsará un fluido dentro de un sistema de filtrado.

Anteriormente se ha realizado un estudio del funcionamiento de una bomba, y de sus parámetros operacionales que serán tomados en cuenta para la

⁴⁴ ESPECIFICADA POR EL FABRICANTE, BIGGS STRATTON S.A.

selección, sin embargo, el diseño del sistema de bombeo exige que se tomen en cuenta parámetros que permitan que el sistema satisfaga requerimientos más allá de las exigencias básicas de operación.

5.2.1. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Actualmente la tecnología desarrollada para producir bombas ha alcanzado niveles de diversificación bastante altos. En el siguiente cuadro se presenta una clasificación bastante precisa de algunos tipos de bombas.

*Tabla 10. Bombas. Clasificación y características.*⁴⁵

	Centrífuga		Desplazamiento positivo			
			Rotatoria	Reciprocante		
	Voluta y difusor	Flujo Axial	Tornillo y engranaje	Vapor de acción directa	Doble acción	Triples
Tipo de descarga	Continua	Continua	Continua	Pulsante	Pulsante	Pulsante
Fluidos que manejan	Limpios, claros, sucios, abrasivos		Viscosos no abrasivos	Limpios y claros		
Variación de la presión de descarga	Baja a media		Media	Pequeña		
Cómo afecta una columna disminuida						
Capacidad	Aumenta		Nada	Pequeña variación	Nada	Nada
Demanda de potencia	Depende de la velocidad específica		Disminuye	Disminuye	Disminuye	Disminuye

Se plantearán las alternativas de acuerdo a la clasificación de las bombas en dos grandes grupos:

⁴⁵ HICKS Tyler, BOMBAS SU SELECCIÓN Y APLICACIÓN, Compañía Editorial Internacional, México, 1974.

Bombas Centrífugas

El principio de operación de una bomba centrífuga radica en la transferencia de energía de un rodete o impulsor en movimiento rotatorio al fluido. El diseño del rodete es específico para diferentes actividades. Para el caso específico del agua con partículas sólidas en suspensión existen varios fabricantes de rodetes abiertos.

Una bomba centrífuga presenta en realidad muy pocas partes móviles, sin embargo existen componentes que están sujetos a desgaste y por lo tanto plantean la necesidad de realizar actividades de mantenimiento programadas.

Dependiendo de las condiciones de operación del sistema (potencia requerida) el eje de la bomba puede ser impulsado por dos tipos de motores: eléctricos y de combustión interna y en general se emplean para bombear fluidos de una densidad y viscosidad bajas, similares a las del agua en condiciones normales.

Del apartado 5.1.3. se obtiene la presión de bombeo que se requiere de la bomba. Es fácil notar que es una presión relativamente baja y por lo tanto una bomba centrífuga puede satisfacer sin dificultad estos requerimientos.

Bombas de desplazamiento positivo

Las bombas de desplazamiento positivo, ya sean de pistón, engranajes o tornillo producen el desplazamiento del fluido por la acción de un elemento mecánico que empuja al fluido hacia fuera de la cavidad en donde está alojada.

Este tipo de bombas tienen la capacidad de elevar la presión del fluido en una magnitud muy elevada. En condiciones normales se emplean para impulsar fluidos que requieren de mucha energía para ser bombeados, es decir, fluidos de alta viscosidad, existiendo bombas impulsadas por motores con una potencia nominal de hasta 30000 HP.

Presentan además una gran cantidad de partes móviles, además de sistemas de seguridad para asegurar un funcionamiento correcto y

sin imprevistos. Esto incrementa en cierta magnitud el costo de adquisición y de mantenimiento de estos equipos.

5.2.2. PARÁMETROS A EVALUARSE PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA IMPULSORA

Los parámetros que serán analizados son los siguientes:

Cumplimiento de los requerimientos operacionales del sistema

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

Costo

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

Actividades de mantenimiento

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

5.2.3. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA BOMBA

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

Cada parámetro de selección se evaluará en una escala del 1 al 10, tomando en cuenta los tratados técnicos de cada tipo de bomba.

Tabla 11. Parámetros de selección de la bomba

Parámetro	Bomba centrífuga	Bomba de desplazamiento positivo
Requerimientos operacionales	10	10
Costo	8	10
Actividades de mantenimiento	9	10
Total	27	30

De acuerdo al análisis anterior la mejor alternativa de diseño es la adopción de una bomba centrífuga. Esto se justifica plenamente puesto que las presiones de trabajo que se manejan son relativamente bajas, además que las propiedades físicas del fluido (viscosidad y densidad) permiten la adopción de este tipo de bomba para el diseño.

La selección específica de la bomba que será empleada en el sistema corresponde sobre todo al análisis de disponibilidad de compra de la misma.

Para este propósito se emplearán los catálogos adjuntos en el Anexo 5.

5.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL MOTOR DE LA BOMBA CENTRÍFUGA.

El motor de la bomba centrífuga será el único elemento consumidor de energía en forma directa que se tomará en cuenta en el diseño.

Para la selección deberán tomarse en cuenta los siguientes parámetros:

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

5.3.1. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Motor eléctrico, alimentado de una red eléctrica.

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

Sistema muy sencillo, puesto que el motor eléctrico se conecta directamente a la bomba y se controla por un panel de control con un solo switch de encendido y otro de corte de emergencia.

El costo del sistema únicamente implica la adquisición del motor eléctrico y la bomba.

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

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

Motor eléctrico, alimentado por un generador eléctrico, movido por un motor estacionario.

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

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

El costo de todo el sistema implica la adquisición de un motor estacionario de combustión interna, un generador eléctrico, un motor eléctrico y una bomba. Además de los controladores necesarios y otros accesorios.

El mantenimiento debe darse en forma individual a cada uno de los cuatro subsistemas.

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

Bomba movida por un motor estacionario acoplado mediante un embrague mecánico.

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

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

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

El mantenimiento implica procedimientos individuales en el motor estacionario, el embrague y la bomba.

El espacio físico necesario para la instalación del sistema es menor que para el caso anterior.

5.3.2. PARÁMETROS A EVALUARSE PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR DE LA BOMBA

Los parámetros a evaluarse para seleccionar el motor serán:

Disponibilidad de la energía necesaria para su funcionamiento

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

Complejidad del sistema, número de subsistemas

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

Costo total del sistema

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

Facilidad de mantenimiento.

Las operaciones de mantenimiento deben ser lo más sencillas que sea posible, puesto que en casos esporádicos será necesario realizar estas labores en el complejo petrolero, y en ese caso no se pueden permitir tiempos muertos muy prolongados.

Operatividad

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

5.3.3. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

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

Tabla 12. Parámetros de selección del motor

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

La alternativa seleccionada presenta las mejores características tanto técnicas como de rentabilidad.

Cabe aclarar que las tres alternativas señaladas se encuentran disponibles en comercializadoras locales, por lo cual la disponibilidad no fue analizada.

5.3.4. PRESENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

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

En el Anexo 9.5, se presentan las proformas de las alternativas existentes a nivel local. La bomba que será utilizada será una Briggs Stratton 4x4, con motor de 6.5 HP, de 246 gpm y 32 m de altura de presión, de acuerdo a los cálculos realizados en el apartado 5.1.1.

La presión de salida considerando la bomba seleccionada, y tomando en cuenta las condiciones de trabajo del sistema, estará en un intervalo de 35 a 56 psi, considerando el tanque de fractura del que se bombea el agua de formación.

CAPÍTULO 6

PROCESO DE SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRADO

INTRODUCCIÓN

El sistema de filtrado requiere el diseño de algunos elementos y la especificación de varios procedimientos basados en cálculos y normas. A continuación se presenta todo el proceso de construcción y montaje de la unidad de filtración.

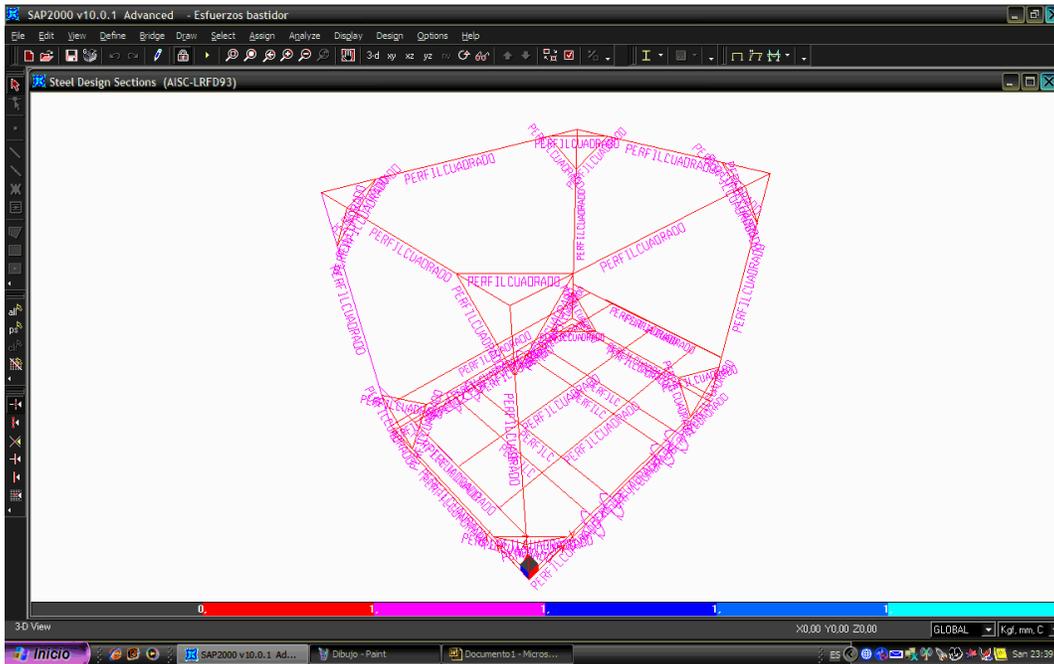
6.1. ESTRUCTURA

6.1.1. CÁLCULO DE ESFUERZOS EN LA ESTRUCTURA Y FACTOR DE SEGURIDAD

El procedimiento para la realización de los diagramas de momento flector y fuerza cortante de los elementos de la estructura se realizaron utilizando el programa SAP 2000.

La siguiente gráfica muestra las cargas que actúan sobre la estructura (El peso propio de la estructura no se muestra en el esquema puesto que el programa de simulación y cálculo estructural por elementos finitos SAP 2000 toma en cuenta esta carga internamente).

Gráfica 11. Perfiles asignados a los elementos de la estructura



Además, el programa permite realizar una evaluación de resistencia de la estructura en conjunto. La escala de colores muestra el nivel de esfuerzos a los que está sometida la estructura para determinar si existe riesgo de falla.

Una característica importante del programa es que las propiedades de la sección se muestran en el cuadro siguiente.

Gráfica 12. Propiedades del área transversal del perfil cuadrado de 75 x 75 x 3

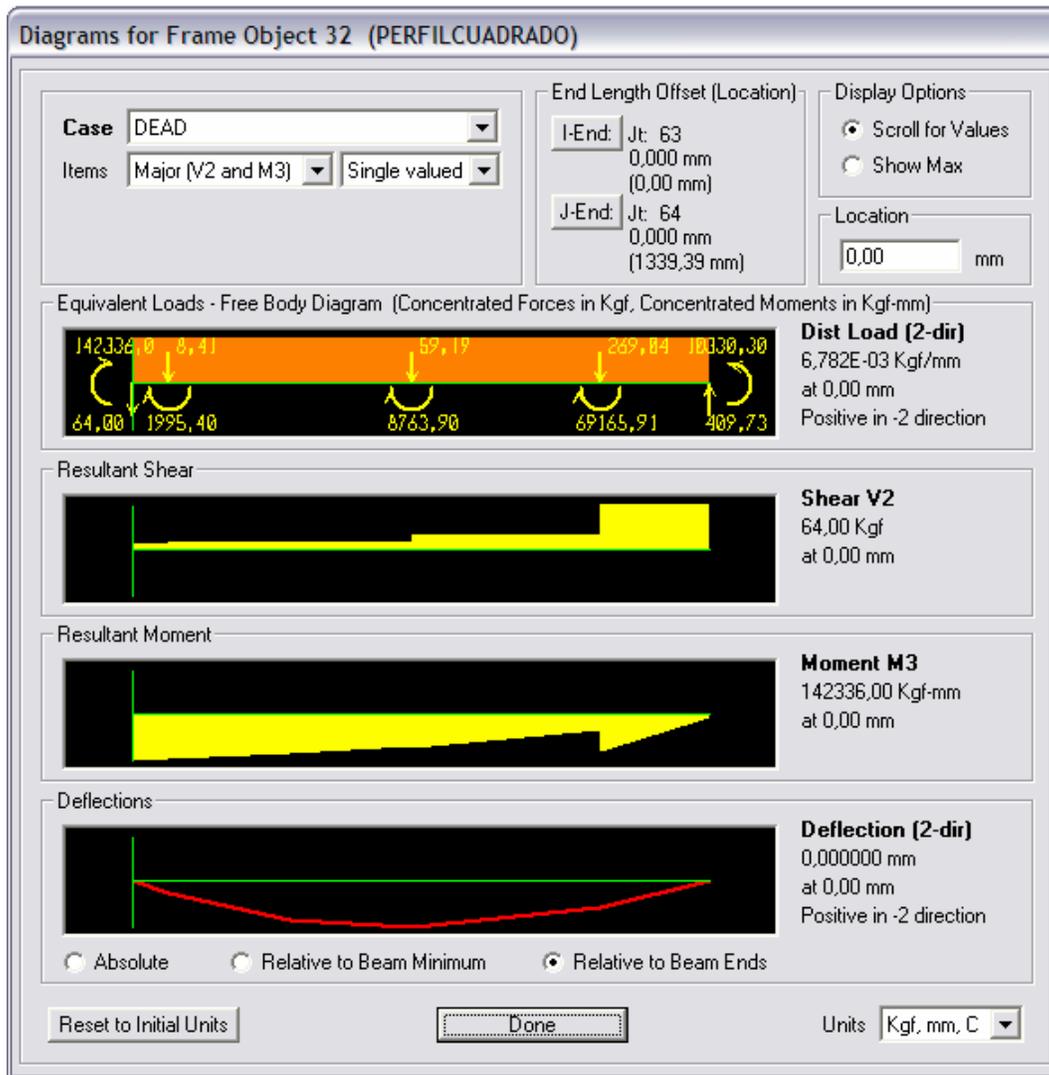
The image shows a software dialog box titled "Property Data". At the top, there is a field for "Section Name" containing the text "TUBOCUADRADO". Below this, a section titled "Properties" contains a table of mechanical properties. Each property name is on the left, and its numerical value is in a text box on the right. The properties listed are: Cross-section (axial) area (864), Torsional constant (1119744), Moment of Inertia about 3 axis (747792), Moment of Inertia about 2 axis (747792), Shear area in 2 direction (450), Shear area in 3 direction (450), Section modulus about 3 axis (19941,12), Section modulus about 2 axis (19941,12), Plastic modulus about 3 axis (23341,5), Plastic modulus about 2 axis (23341,5), Radius of Gyration about 3 axis (29,4194), and Radius of Gyration about 2 axis (29,4194). At the bottom center of the dialog box is an "OK" button.

Property	Value
Cross-section (axial) area	864,
Torsional constant	1119744,
Moment of Inertia about 3 axis	747792,
Moment of Inertia about 2 axis	747792,
Shear area in 2 direction	450,
Shear area in 3 direction	450,
Section modulus about 3 axis	19941,12
Section modulus about 2 axis	19941,12
Plastic modulus about 3 axis	23341,5
Plastic modulus about 2 axis	23341,5
Radius of Gyration about 3 axis	29,4194
Radius of Gyration about 2 axis	29,4194

En la siguiente gráfica se muestran los diagramas de cuerpo libre, de fuerza cortante, momento flector y deflexión del elemento de la estructura más cargado. Tomando en cuenta estos valores, se calculará el esfuerzo más crítico de toda la estructura, para el respectivo cálculo del factor de seguridad mínimo de la misma.

Cabe acotar que el elemento que presenta los valores máximos de momento flector y fuerza cortante es la viga horizontal que soporta las barras que sostienen los elementos del sistema de filtrado y bombeo.

Gráfica 13. Diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante, momento flector y deflexión del elemento más crítico de la estructura.



Esfuerzos en el elemento más crítico

El elemento más crítico de la estructura está sometido a flexión, por tanto el cálculo del esfuerzo máximo se realizará a partir del conocimiento del momento máximo, y del momento de inercia del mismo elemento, ambos valores obtenidos en el programa SAP:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x} \cdot y_1}{I} \quad 46$$

⁴⁶ I. MOROLIÚBOV, PROBLEMAS DE RESISTENCIA DE MATERIALES, 1985.

en donde,

$$M_{m\acute{a}x} = 142336 \text{ Kgf} \cdot \text{mm}$$

$$y_1 = \frac{h}{2} = \frac{3 \text{ in}}{2} = 1,5 \text{ in}$$

$$I = 747792 \text{ mm}^2$$

entonces :

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{142336 \text{ Kgf} \cdot \text{mm} \cdot \frac{2,2 \text{ lbf}}{1 \text{ Kgf}} \cdot \frac{1 \text{ in}}{25,4 \text{ mm}} \cdot 1,5 \text{ in}}{747792 \text{ mm}^2 \cdot \frac{1 \text{ in}^2}{64516 \text{ mm}^2}} \cdot \frac{1 \text{ Kpsi}}{1000 \text{ psi}} = 1,6 \text{ Kpsi}$$

Factor de seguridad

El factor de seguridad será calculado a partir del conocimiento de la resistencia del elemento en cuestión, 36 Kpsi, proporcionada por el distribuidor (ACEROS EMANUEL):

$$N = \frac{|\sigma|}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{36 \text{ Kpsi}}{1,6 \text{ Kpsi}} = 22,5 \approx 23$$

El mismo que se justifica debido a la disponibilidad del material, además de su bajo costo, y la facilidad que brinda para la fabricación de la estructura.

6.1.2. CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD

Las características que presenta el equipo disponible para el transporte de la unidad, indican que es importante conocer el punto en donde se concentrar el peso de toda la unidad (incluyendo la estructura), principalmente en el plano horizontal, por tanto, es en éste en el que se realizarán todos los cálculos.

Especificación de volúmenes de agua de formación contenidos en la unidad de filtración durante su operación

Las capacidades de los componentes del sistema de impulsn y de filtrado, así como el peso del agua de formación que contienen durante la operación, se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 13. Capacidad de los elementos de la unidad de filtración

Elemento	Capacidad m³ (l)	Peso Kg
Tanque de filtros	0,171 (171)	171
Hidrociclón	0,070 (70)	70
Bomba	0,016 (16)	16
Tubería	0,0085 (8,5)	8,5
Total	0,2655 (265,5)	265,5

En un supuesto evento catastrófico, en el cual toda el agua de formación contenida en el sistema se derramara, la plancha de retención inferior en conjunto con los componentes inferiores de la estructura metálica conforman un recipiente cuya capacidad es de 293 litros, los cuales son suficientes e incluso excesivos para contener los 265,5 litros de agua de formación contenidos en el sistema.

Especificación de pesos

El peso de los equipos disponibles de impulsión (motor y bomba centrífuga), separación (hidrociclón) y filtración (filtros de cartucho y carcasa) se especifican a continuación:⁴⁷

Tabla 14. Pesos de los elementos de los sistemas de impulsión y filtrado

Elemento	Peso vacío (Kg)	Peso conteniendo agua de formación (Kg)
Motor y bomba centrífuga	29	45
Hidrociclón	30	100
Filtros de cartucho y carcasa	100	271

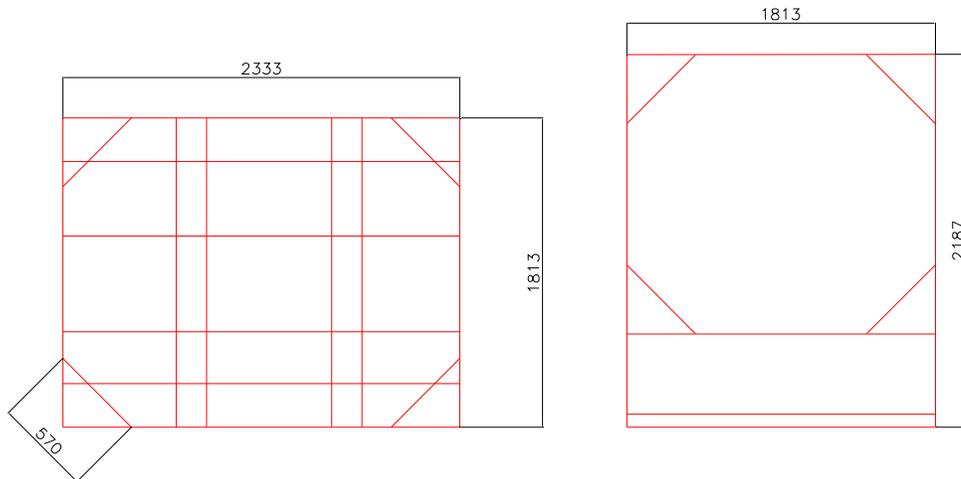
⁴⁷ ESPECIFICACIONES DETALLADAS EN CAPÍTULOS ANTERIORES Y ANEXOS

Estructura

El cálculo del peso de la estructura es un tanto más complejo. Es necesario conocer el peso del material y la longitud total de material que se va a emplear para su construcción.

- Peso ⁴⁸: 39,6 Kg / 6 m

Figura 29. Esquema simplificado de la estructura



La longitud total es de 72,18 m. Por tanto, el peso total de la estructura será de 476,4 Kg.

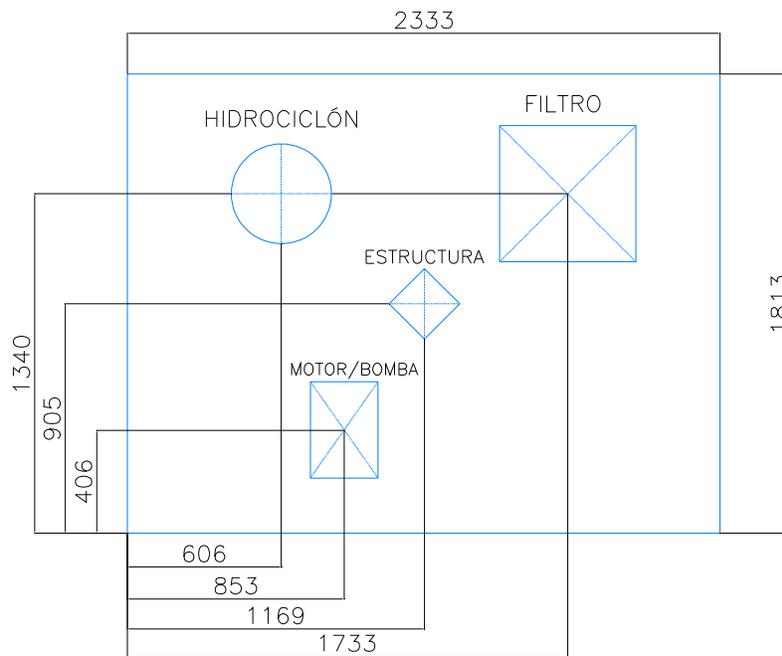
Se supondrá que el punto de concentración del peso de la estructura será el centro geométrico de la misma, por tratarse de una figura simétrica.

Distribución de pesos

Para simplificar el cálculo del centro de gravedad del sistema, se utilizará un esquema que representa la forma en que se encuentran distribuidos los pesos de sus diferentes componentes.

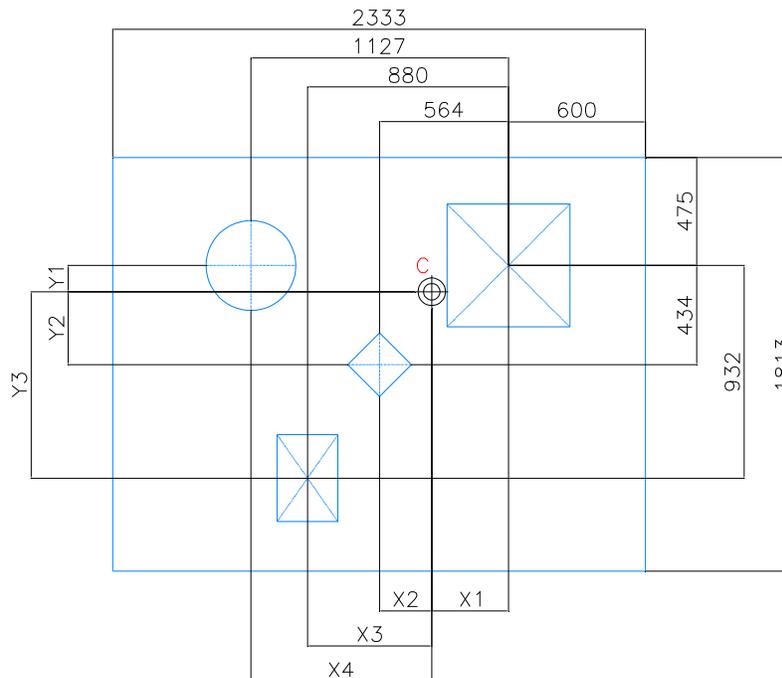
⁴⁸ VALOR PROPORCIONADO POR EL DISTRIBUIDOR (ACEROS EMANUEL)

Figura 30. Esquema simplificado de la estructura



Planteamiento de las ecuaciones de equilibrio

Figura 31. Variables para el planteamiento de las ecuaciones de equilibrio



En el punto de equilibrio, la suma de momentos en cada eje (X, Y) es igual a cero, por tanto, se plantean las siguientes ecuaciones:

$$\sum M_x = 0$$

$$X_4 \cdot 100 + X_3 \cdot 45 + X_2 \cdot 476,4 = X_1 \cdot 271 \quad (1)$$

$$X_1 + X_2 = 564 \quad (2)$$

$$X_1 + X_3 = 880 \quad (3)$$

$$X_1 + X_4 = 1127 \quad (4)$$

reemplazando las ecuaciones (2), (3) y (4) en la ecuación (1):

$$(1127 - X_1) \cdot 100 + (880 - X_1) \cdot 45 + (564 - X_1) \cdot 476,4 = X_1 \cdot 271$$

$$X_1 = \frac{1127 \cdot 100 + 880 \cdot 45 + 564 \cdot 476,4}{271 + 100 + 45 + 476,4} = 472$$

$$\sum M_y = 0$$

$$Y_2 \cdot 476,4 + Y_3 \cdot 45 = Y_1 \cdot (100 + 271) \quad (5)$$

$$Y_1 + Y_2 = 434 \quad (6)$$

$$Y_1 + Y_3 = 932 \quad (7)$$

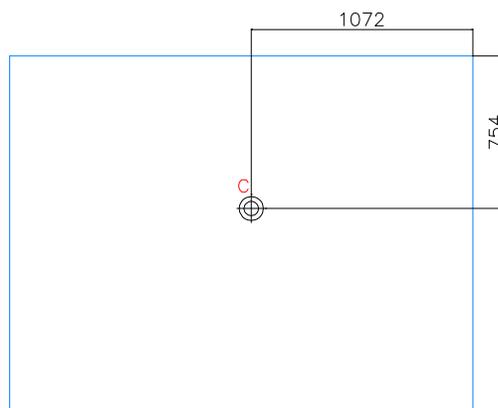
reemplazando las ecuaciones (6) y (7) en la ecuación (5):

$$(434 - Y_1) \cdot 476,4 + (932 - Y_1) \cdot 45 = Y_1 \cdot (100 + 271)$$

$$Y_1 = \frac{434 \cdot 476,4 + 932 \cdot 45}{100 + 271 + 476,4 + 45} = 279$$

De aquí, el centro de gravedad se sitúa en el plano horizontal como se indica en el siguiente esquema.

Figura 32. Ubicación del centro de gravedad en el plano horizontal ⁴⁹



⁴⁹ TODAS LAS UNIDADES SE ENCUENTRAN EN MILÍMETROS

6.1.3. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS PERNOS DE SUJECIÓN⁵⁰

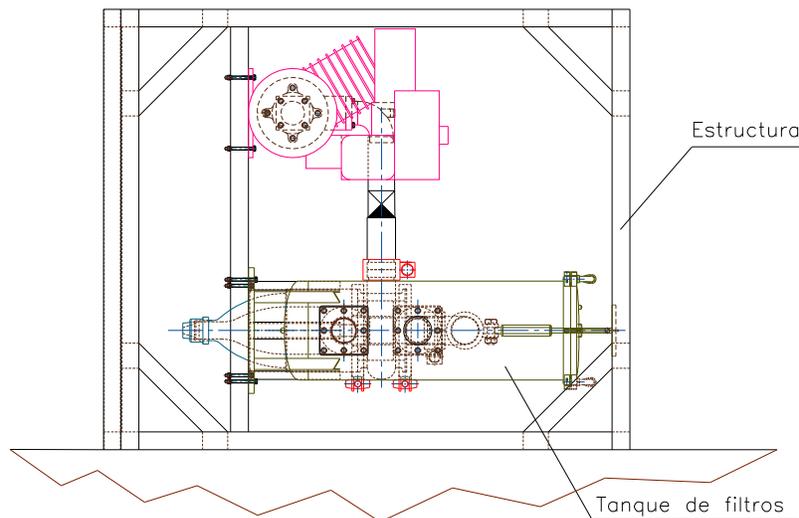
Los pernos de sujeción son los elementos vitales que mantienen fijos los elementos del sistema de filtrado y de impulsión al bastidor.

Han sido seleccionados tomando en consideración las dimensiones del agujero pasante destinado a la sujeción del tanque de filtros, que es el elemento del sistema de mayor peso y dimensiones.

Se ha decidido además emplear en todas las juntas empernadas el mismo tipo de pernos, es decir pernos UNC 5/8 in x 5 in Clase 8.8 y UNC 5/8 in x 3 in Clase 8.8 para reducir al mínimo las herramientas necesarias para el ensamblaje de la unidad de filtración.

Para el cálculo del factor de seguridad de los pernos se ha seleccionado el caso extremo en el cual la unidad de filtración se encuentra apoyada en el suelo sobre uno de sus lados, encontrándose el tanque de filtros horizontal, como se muestra en la Figura 33.

Figura 33. Unidad de filtración girada 90° apoyada sobre el suelo

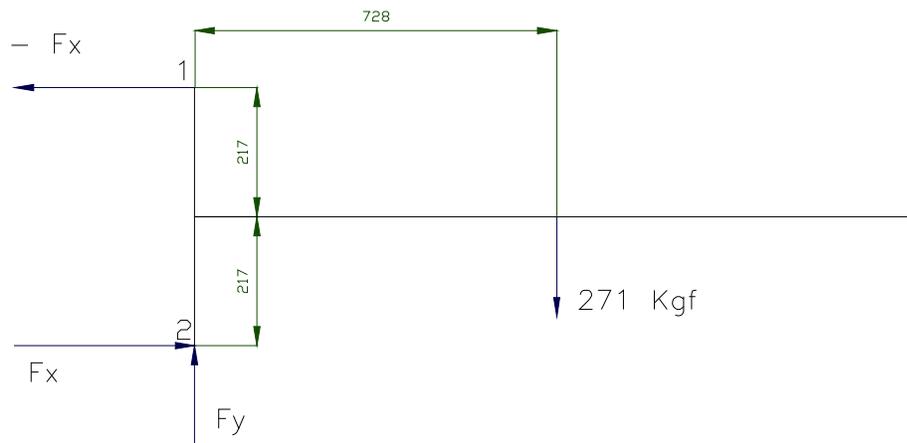


⁵⁰ SHIGLEY EDGARD, MANUAL DE DISEÑO MECÁNICO, MC GRAW HILL, MÉXICO, 1989

Los pernos del tanque de filtros, debido al peso del mismo (Elemento con mayor peso 270 Kg, lleno de agua de formación) serán considerados los más críticos

La Figura 6.1.3.2. presenta el diagrama de cuerpo libre simplificado del tanque de filtros en la posición anteriormente señalada.

Figura 34. Diagrama de cuerpo libre del tanque de filtros simplificado.



Aplicando las ecuaciones de equilibrio, para un sistema estático de cargas, se obtienen los siguientes valores de fuerza:

$$F_x = 455 \text{ Kgf (1001 lbf)}$$

$$F_y = 271 \text{ Kgf (596,2 lbf)}$$

Para el cálculo de los esfuerzos en los pernos de sujeción se hicieron las siguientes suposiciones:

- El perno ubicado en el punto 1, se encuentra sometido a tracción.
- El perno ubicado en el punto 2, se encuentra sometido a fuerza cortante.
- Las fuerzas F_x y F_y deben ser repartidas a dos pernos.

Los esfuerzos calculados tanto para los pernos a tracción como para los pernos a cortante son los siguientes:

$$\sigma = 2085 \text{ psi (Perno a tracción)}$$

$$\tau = 4968 \text{ psi (Perno a cortante)}$$

Los factores de seguridad calculados para los pernos son los siguientes:

$$\eta_{\tau} = 4,18 \text{ (Perno a tracción)}$$

$$\eta_{\sigma} = 17,3 \text{ (Perno a cortante)}$$

Los factores de seguridad calculados anteriormente muestran un posible sobredimensionamiento de los elementos de sujeción, sin embargo, puede resultar útil la suposición de los peores escenarios posibles en los que podría funcionar el equipo, para asegurar su durabilidad en eventos aislados. Debe acotarse que el costo de los pernos seleccionados es menor a un dólar, lo cual implica un costo total de alrededor de 25 dólares. Este costo es muy reducido en comparación al global del equipo, o inclusive en comparación con cualquiera de sus componentes (El precio del tanque de filtros es de aproximadamente USD 6900⁵¹).

6.2. PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

A pesar de que el sistema de bombeo y el sistema de filtrado, así como la tubería y los accesorios deberán ser acoplados mediante juntas empernadas y pegadas, existe un elemento funcional cuyo propósito no es crítico para el diseño (No afecta al rendimiento del sistema), pero que requiere un tratamiento muy especial puesto que es el componente que va a soportar el peso de los subsistemas anteriormente señalados y servirá de protección para todo el equipo.

Cabe señalar que su diseño debe realizarse tomando en cuenta que deben instalarse elementos de soporte para el traslado del equipo a las diferentes locaciones.

⁵¹ VER ANEXO 5.7

Este componente es el bastidor, que por motivos de seguridad y confiabilidad debe ser construido de un material de buena resistencia mecánica.

Por este motivo, el bastidor deberá construirse de acero, puesto que es un material de una resistencia excepcional y de un costo bajo.

Por este motivo se procederá a definir las especificaciones del procedimiento de soldadura, con sus siglas en inglés WPS (Welding Procedures Specifications), debido a que todo el proceso de construcción y montaje de dicho elemento se deberá realizar por medio de juntas soldadas.

Debido a que el presente diseño no será materializado por sus autores, los procedimientos de soldadura serán realizados empleando una norma que presente procedimientos precalificados.

La elaboración de los procedimientos de soldadura precalificados se realizará en base al Capítulo Tercero de la norma AWS D 1.1, utilizada en procesos de soldadura estructural.⁵²

Los WPS que se realizaron deberán ser considerados y seguidos rigurosamente al momento del montaje del bastidor.

6.2.1. ELABORACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

La elaboración de los procedimientos de soldadura requiere del conocimiento de las diferentes variables que intervienen en el proceso.

Algunos parámetros esenciales que pueden variar en un proceso de soldadura:

- Variación del tipo de electrodo (Recubrimiento, protecciones, propiedades mecánicas)

⁵² STRUCTURAL WELDING CODE STEEL. AWS D 1.1/D 1.1 M:2002, AN AMERICAN INTERNATIONAL STANDARD

- Variación de las dimensiones del electrodo.
- Variación del tipo de corriente (Alterna, continua o su polaridad)
- Variación de la intensidad de corriente del proceso de soldadura.
- Variación del espesor del material a soldar, en los dos casos citados a continuación:
 - o Cambio del espesor del metal base del material a soldar en un porcentaje mayor al 10% para soldadura de puntos o cordones de soldadura.
 - o Para las mismas juntas, variaciones de espesor entre 0,5 a 2 veces el espesor de la lámina de acero.
- Incrementos en la raíz para la soldadura en un perfil rectangular.
- Variación del tipo de recubrimiento del material.
- Incremento mayor al 30% en el recubrimiento de la lámina de acero.
- Cambio de posición luego de ejecutarse la soldadura.
- En la posición vertical, cambio de la dirección de soldadura.
- Variaciones del tipo de gas protector.
- Cambio del flujo de fundente (SAW).
- Variaciones de voltaje de $\pm 10\%$ para cada diámetro de electrodo usado en la soldadura.
- Variación de la tasa de alimentación de material de aporte en la soldadura (GMAW).
- En juntas cuadradas, reducción de juntas soldadas a ambos lados por juntas soldadas a un solo lado.

Análisis de las variables del proceso de soldadura

La Norma AWS D 1.1 presenta los requerimientos de soldadura necesarios para la construcción y levantamiento de estructuras metálicas de aceros de bajo carbono cuyo esfuerzo de fluencia no exceda los 690 MPa (100 Ksi). El espesor mínimo del metal base que maneja la norma es 1/8 in (3 mm).

Por este motivo, el espesor de los perfiles y tubos empleados en la elaboración del bastidor se encuentra en el límite inferior de lo requerido por la norma.

Sin embargo, se elaboraron los procedimientos de soldadura basados en dicha norma, puesto que la norma siguiente (AWS D 1.3), es empleada en procesos de soldadura para chapa metálica donde el espesor máximo del material base es de 1/8 in (3 mm), y no cumple los requerimientos necesarios para la elaboración de la estructura.

Proceso de soldadura⁵³

La Norma AWS presenta procedimientos de soldadura para procesos SMAW, GMAW, SAW y FCAW. El proceso de soldadura que se empleará para el montaje de la estructura es el proceso SMAW.

Posiciones de soldadura⁵⁴

La estructura metálica que se elaborará requiere de cordones a tope y en filete. Además, se requiere realizar la soldadura en posición plana, horizontal, vertical y sobre cabeza.

La norma permite la realización de los procesos de soldadura mencionados, con una condición: la soldadura vertical debe realizarse con una progresión ascendente.

Composición y espesor del metal base

El metal base debe estar constituido por acero de bajo carbono, que presente un límite de fluencia menor a 100 Ksi.

De acuerdo a la Norma AWS D 1.1 en la Tabla 3.2⁵⁵, el acero A 36 cumple plenamente las características para la construcción del bastidor. La norma exige además que el espesor a soldar no sea menor de 1/8 in (3 mm) o mayor de 3/4 in (20 mm), incluidos. De esta manera, el metal base cumple plenamente con los

⁵³ STRUCTURAL WELDING CODE STEEL. AWS D 1.1/D 1.1 M:2002, AN AMERICAN INTERNATIONAL STANDARD

⁵⁴ VER ANEXO 7.5.

⁵⁵ VER ANEXO 7.2.

requerimientos que impone la Norma. Además se ha tomado en cuenta en los WPS que no es necesario realizar un precalentamiento del metal base para realizar el procedimiento de soldadura según en Anexo 9.7.2.

Diámetro de electrodo

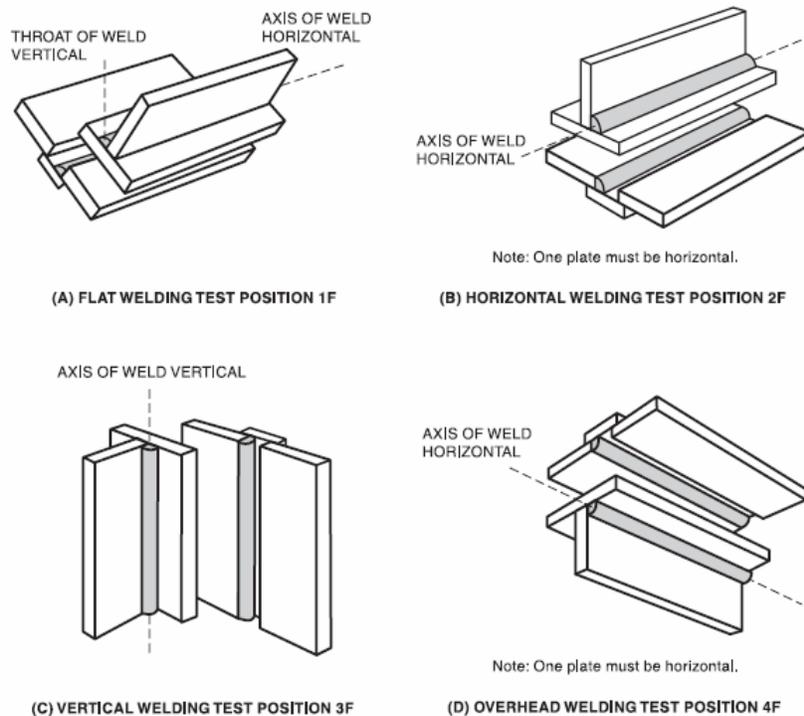
La norma exige que se empleen electrodos que cumplan la norma AWS 5.1, por lo cual se elegirá el electrodo E 6010, que se incluye además en la Norma AWS D 1.1, en su Tabla 3.1.⁵⁶

Calificación del Soldador

La Norma AWS D 1.1 exige la calificación del soldador si se emplean WPS precalificados.

Según la Tabla 4.9⁵⁷ de la norma AWS D 1.1, el soldador debe ser calificado para las posiciones plana, horizontal, vertical ascendente y sobre cabeza, tanto para cordones de filete como para cordones a tope.

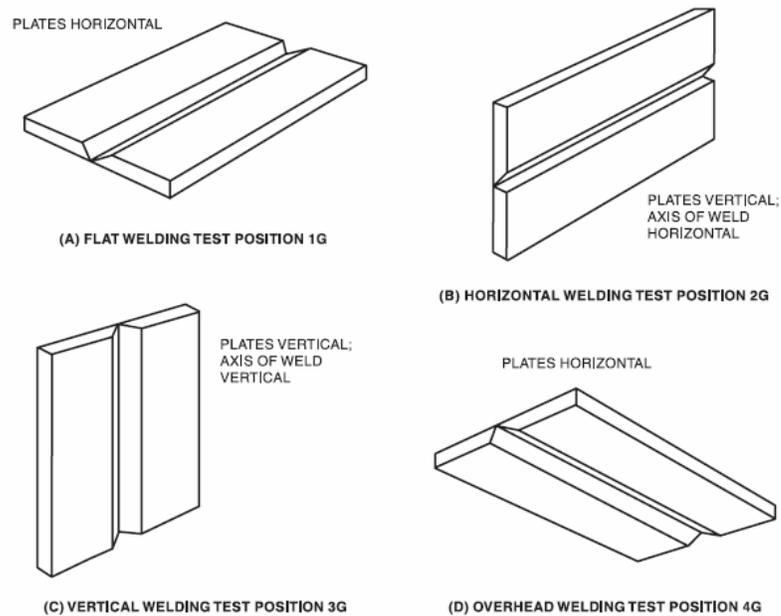
Figura 35. Posiciones de soldadura a filete para calificación de soldador.



⁵⁶ VER ANEXO 7.1.

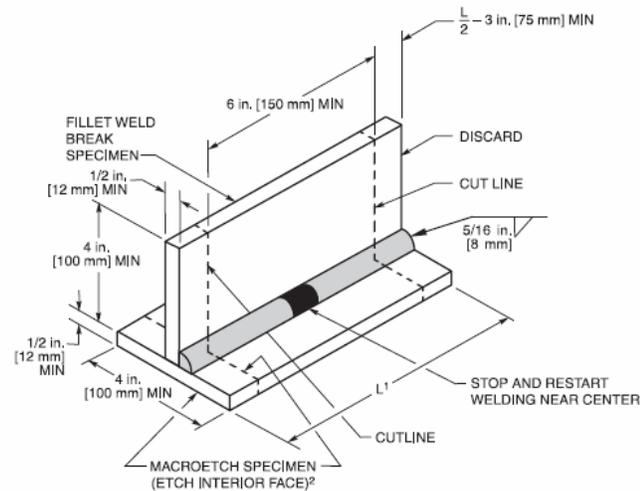
¹⁰ VER ANEXO 7.9.

Figura 36. Posiciones de soldadura a tope para calificación de soldador.



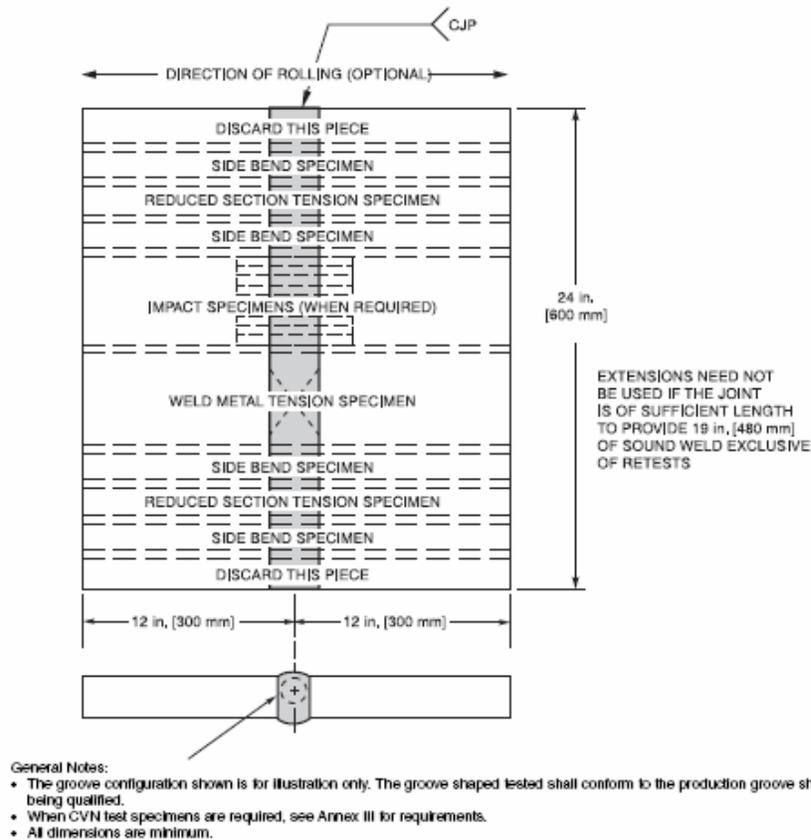
En la Tabla 4.10⁵⁸ de la norma AWS D 1.1, se indica que el número de probetas por cordón de soldadura a realizar es de 1, para un espesor de plancha o tubo de 1/8 in (3 mm).

Figura 37. Probeta para calificación de soldador. Junta de filete



¹¹ VER ANEXOS 7.7., 7.8., 7.9. Y 7.10.

Figura 38. Probeta para calificación de soldador. Junta a tope⁵⁹



Las probetas para calificar al soldador se muestran en las figuras 37 y 38.

6.2.2. VERIFICACIÓN DE LOS CORDONES DE SOLDADURA EMPLEADOS EN LA CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR

Ensayos no destructivos

Es necesario implementar un método adicional de verificación de la calidad de los cordones de soldadura a realizarse de acuerdo a la Norma, que exige un examen visual de los cordones.

Es por este motivo que a continuación se analizarán métodos de ensayos no destructivos que se emplearán para constatar que los cordones de soldadura presenten las características adecuadas que aseguren la resistencia mecánica del bastidor y su durabilidad.

Los Ensayos No Destructivos (END), consisten en una serie de procedimientos de ensayo que permiten la detección y evaluación de

⁵⁹ STRUCTURAL WELDING CODE STEEL. AWS D 1.1/D 1.1 M:2002, AN AMERICAN INTERNATIONAL STANDARD

discontinuidades o defectos presentes en los materiales y que influyen en las propiedades de los mismos, en detrimento de la confiabilidad de los elementos mecánicos que conforman. Este tipo de procedimientos no altera la estructura de las piezas analizadas ni sus propiedades.

El objeto de la implementación de dichos procedimientos se enfoca hacia los siguientes fines:

- Satisfacción de normas de calidad y confiabilidad.
- Prevención de accidentes por falla de elementos mecánicos.
- Rentabilidad
- Desarrollo de la ciencia de materiales

A continuación se presenta un cuadro en el cual se realiza una clasificación de los ensayos no destructivos:

Tabla 14. Clasificación de los ensayos no destructivos

Métodos Basados en la aplicación de radiaciones penetrantes	Radiografía (Rayos X)
	Gamagrafía (Rayos Gama)
	Xerografía
	Neutronografía
Métodos basados en vibraciones mecánicas	Ultrasonido
	Emisión acústica
	Análisis de vibraciones
Métodos basados en electricidad y magnetismo	Partículas magnetizables
	Corrientes parásitas de Hedí
	Ensayos eléctricos
	Magnetoscopia
Métodos ópticos	Examen visual (Lentes, espejos, endoscopios)
	Transmisión de imágenes
	Réplicas
Métodos basados en energía térmica	Termografía (Lápices térmicos)
	Métodos infrarrojos
Métodos basados en transporte de materia	Tintas penetrantes
	Exudación de gases
	Partículas filtradas
	Dureza mecánica
Métodos basados en energía mecánica	Rugosimetría
	Extensómetros eléctricos
	Lacas frágiles
	Fotoelasticidad

Aplicaciones de los ensayos no destructivos

La gran variedad de ensayos no destructivos existentes en la industria actual, permiten realizar una serie de análisis a los materiales como se enlista a continuación:

a) Detección de discontinuidades

Tabla 15. Tipo de discontinuidades

Según su forma	Planares
	Volométricas
Según su posición	Superficiales
	Internas
	Subsuperficiales

b) Composición de los materiales

- Inhomogeneidades y segregación
- Clasificación de los materiales

c) Propiedades físicas y mecánicas

- Conductividad eléctrica
- Conductividad térmica
- Constantes dieléctricas
- Constantes elásticas
- Dureza

d) Estructura interna

- Estructura metalográfica
- Tamaño de grano
- Acabado superficial
- Detección de transformaciones de fase
- Textura
- Tensiones residuales

e) Dimensiones y ubicación

- Metrología (Espesores, diámetros, perfiles)
- Posición de componentes
- Ubicación de inserciones
- Identificación dimensional

Uso y selección de los ensayos no destructivos

Cada tipo de ensayo resulta útil bajo ciertos parámetros, por lo que en algunos casos los ensayos resultan exclusivos para ciertos análisis o pueden complementar a otros.

La selección del método más adecuado de evaluación está estrechamente relacionada con los objetivos del análisis, además de otros factores como el tipo de material, su forma y tamaño, su ubicación geográfica y disponibilidad para ser trasladado, costo de los ensayos.

Método de ensayos por tintas penetrantes

Este método se basa en el principio de capilaridad de los fluidos, lo cual permite a éstos penetrar en fisuras y otras imperfecciones de pequeñas dimensiones abiertas a la superficie, haciéndolas visibles.

El campo de aplicación de este método incluye metales, cerámicos y polímeros no porosos o que presenten rugosidad excesiva o escamado.

Este método presenta ciertas características que lo distinguen: se puede aplicar independientemente de la geometría de la pieza a analizar, el equipamiento requerido es mínimo y su sensibilidad para la detección de defectos es superior a la que se logra mediante radiografía, ultrasonido y corrientes parásitas.

El procedimiento de Tintas Penetrantes presenta los siguientes pasos:

- Limpieza efectiva de la superficie a examinar. (El secado de la misma es imprescindible)
- Aplicación del líquido penetrante en toda la superficie a analizar
- Se requiere el transcurso de un tiempo específico para que se produzca el efecto de capilaridad y que las tintas penetren en las imperfecciones.
- Remoción del líquido penetrante de la superficie, evitando a toda costa la extracción del fluido que ha penetrado en las imperfecciones. Puede realizarse por pulverización con agua

(Con o sin la aplicación previa de emulsificador) y arrastre con paños humedecidos con solvente dependiendo del tipo de solvente.

- Secado de la superficie y la posterior aplicación del agente revelador, que puede ser talco o ciertas sustancias minerales pulverizadas muy finamente, pulverizadas sobre la superficie en suspensión a base de alcohol.

El revelador extrae el líquido penetrante hacia la superficie, lo cual permite su difusión. Este proceso ofrece indicaciones visibles de las imperfecciones superficiales del material.

Clasificación de los líquidos penetrantes⁶⁰

Según las normas que serán empleadas para implementar los procedimientos de inspección por líquidos penetrantes, ASTM E – 175 y MIL – I – 6866 – B, coinciden en la definición los tipos de líquidos penetrantes y su clasificación, presentando únicamente diferencias en la simbología empleada para su notación.

Tabla 16. Clasificación de los métodos de tintas penetrantes⁶¹

ASTM E - 165		MIL – I - 6866		Pigmento	Caracterización
Tipo	Técnica	Tipo	Técnica		
A	1	I	A	Fluorescente	Lavables con agua
	2		B		Post emulsificables
	3		C		Removibles con solvente
B	1	II	A	Colorados	Lavables con agua
	2		B		Post emulsificables
	3		C		Removibles con solvente

⁶⁰ NORMAS ASTM E – 175 Y MIL – I – 6866 - B

⁶¹ NORMAS ASTM E – 175 Y MIL – I – 6866 – B.

Preparación de las piezas a examinar

La eliminación de contaminantes que interfieran con la acción de los líquidos penetrantes asegura que los resultados obtenidos sean confiables. Es necesario que las superficies se encuentren perfectamente limpias y secas antes de la aplicación de los líquidos penetrantes.

La preparación de las superficies incluye la remoción de cascarillas, escamados, óxidos, capas de pintura u otros recubrimientos protectores. Además es necesario remover totalmente residuos de grasas, aceites, polvos, y otros contaminantes que pudieran encontrarse en la superficie.

La norma ASTM-E 165-65 incluye las siguientes recomendaciones para la preparación de la superficie:

- *Limpieza con detergentes*

Se pueden emplear detergentes alcalinos, ácidos o neutros que no presenten propiedades corrosivas, dependiendo del material.

- *Solventes*

Puede realizarse la limpieza manual de áreas localizadas mediante pulverizadores o aerosoles, o bien la inmersión de las piezas en tanques con solventes libres de residuos sólidos.

- *Vapor desengrasante*

Método adecuado para remover grasas o aceites pesados

- *Soluciones decapantes (Ácidos o alcalinos)*

Empleadas para la remoción de capas de óxidos, por inmersión en soluciones de ácidos inhibidos o álcalis decapantes. La solución no debe ser corrosiva.

- *Remoción de pinturas*

Existen solventes específicamente producidos para lograr este efecto. También pueden emplearse removedores en

caliente; el propósito es eliminar completamente las capas de pintura sobre la superficie.

- *Limpieza ultrasónica*

Puede emplearse como un método complementario a otros procedimientos de limpieza para aumentar su efectividad y disminuir el tiempo de lavado.

- *Quemado con aire*

En materiales cerámicos la limpieza puede lograrse mediante el calentamiento en una atmósfera oxidante y limpia. Este proceso elimina humedad y materia orgánica liviana. Se puede utilizar la mayor temperatura que no produzca alteraciones al material (Generalmente no excede los 1000° C).

- *Secado posterior a la limpieza*

Es esencial que las partes sean secadas perfectamente con el fin de que se eliminen restos de humedad o de solventes retenidos en las discontinuidades, ya que su presencia podría evitar el ingreso de las tintas penetrantes. Puede lograrse el secado por calentamiento con lámparas infrarrojas, en hornos de secado, en corrientes de aire caliente y seco.

Aplicación del penetrante

Una vez que la pieza se encuentra perfectamente limpia y seca se aplica la tinta penetrante, dependiendo de las condiciones de trabajo, forma, tamaño y tipo de elementos, y de la cantidad de piezas a examinar.

La aplicación de las tintas puede lograrse por: inmersión, pulverización o por pinceles.

Para piezas pequeñas puede funcionar la aplicación por inmersión, ya sea manualmente o con algún elemento que pueda emplearse para sumergir las piezas. Las piezas deben

permanecer en el tanque únicamente el tiempo necesario para que se produzca el mojado de la superficie.

El penetrante se aplica mediante pulverizadores o pinceles en piezas de mayor tamaño que no pueden ser sumergidas en tanques, o bien cuando se examinan zonas específicas como en el caso de la soldadura de tanques o estructuras.

En general se emplean estas técnicas de aplicación en inspección de montajes o en trabajos de campo, donde no se dispone de instalaciones fijas.

Una vez mojada la superficie a analizar, debe transcurrir el tiempo de penetración. Estos tiempos están normalizados para los distintos procesos y tipos de penetrantes, pero lo recomendable es seguir las instrucciones del fabricante.

Un excesivo tiempo de actuación puede dificultar la posterior remoción del penetrante, si se produce la evaporación parcial del mismo.

Remoción del exceso de penetrante

Una vez que el penetrante ha actuado por el tiempo especificado por el fabricante, es imperativo que la mayor cantidad de tinta quede retenida en las imperfecciones hasta el momento del revelado. La remoción de los excesos de líquido deberá realizarse de tal forma que no sea extraído de los defectos.

El procedimiento de remoción depende del tipo de tinta penetrante:

a) Penetrantes preemulsificados o lavables con agua.

Este tipo de penetrantes pueden ser removidos de la superficie mediante el lavado directo con agua. La pulverización con agua genera una emulsión con el penetrante, la cual es arrastrada por el flujo de agua. La temperatura del agua debe estar por debajo de los 40° C para evitar remover el penetrante de defectos abiertos y poco profundos.

b) Penetrantes post emulsificables

El lavado de este tipo de penetrantes debe ser precedido por una operación previa de emulsificación, independientemente de si son fluorescentes o no, puesto que no pueden ser lavados con agua.

La aplicación del emulsificante debe ser realizada por inmersión o por pulverización, una vez que el penetrante haya actuado sobre la superficie. El emulsificante se deposita como una capa sobre el penetrante de forma que se difunda hacia el interior de las grietas. El tiempo de aplicación del emulsificador no debe exceder los 5 minutos.

c) Penetrantes removibles con solvente

Para la remoción de este tipo de penetrantes, se debe aplicar el solvente con un aerosol, con la precaución de que este no desplace a la tinta. Posteriormente se debe realizar la limpieza con papel absorbente u otro medio similar.

Revelado

El proceso de revelado implica la aplicación de una pequeña capa de una sustancia pulverizada sobre la superficie a examinar. El polvo absorbe al penetrante retenido en las imperfecciones, haciéndolas visibles al concentrarse en la superficie.

A continuación se detallan los diferentes tipos de revelado:

a) Revelado en seco

La sustancia reveladora es un polvo muy fino que no se asienta ni se apelmaza. Puede aplicarse el revelador por inmersión o espolvoreándolo sobre la superficie. El exceso de revelador se realiza sacudiendo ligeramente la pieza examinada, o con una ligera corriente de aire.

Este tipo de revelador puede presentar una sensibilidad menor que los reveladores húmedos no acuosos, pero presentan una mejor definición de los defectos detectados.

Los reveladores secos se emplean únicamente para penetrantes fluorescentes.

b) Revelado húmedo no acuoso

El revelador es una sustancia pulverizada en suspensión con un líquido volátil. Puede ser empleado con cualquier tipo de penetrante.

Presentan la más alta sensibilidad por lo que se emplean principalmente en el examen de zonas parciales o cuando la pieza no puede ser calentada en el secado previo.

Debe aplicarse teniendo la precaución de que la pieza se encuentre a una temperatura baja.

c) Revelador acuoso

El revelador acuoso se comercializa como un polvo que deberá ser mezclado con agua para formar la suspensión. Las proporciones precisas en las que debe realizarse la preparación de la suspensión son especificadas por el fabricante, pero debe controlarse periódicamente para asegurar que la composición no haya variado. El baño revelador debe ser agitado antes de ser aplicado para asegurar que el polvo no se ha sedimentado.

Este tipo de revelador se emplea con líquidos penetrantes lavables con agua o post emulsificables.

Observaciones y evaluación de las indicaciones⁶²

La observación de las indicaciones debe iniciarse inmediatamente después del secado del revelador y debe repetirse luego de transcurridos de 15 a 20 minutos, o al cabo de un tiempo no menor al requerido para la penetración.

Si las indicaciones son débiles o dudosas, el tiempo de observación puede extenderse aun más.

⁶² NORMA AWS B 1.10 GUIDE FOR NONDESTRUCTIVE INSPECTION OF WELDS

Con penetrantes tinturados coloreados, las indicaciones se observarán de color rojo intenso, lo cual contrasta con el fondo blanco que se produce por el revelador depositado sobre la superficie de la pieza.

En la observación de penetrantes fluorescentes las indicaciones deben ser iluminadas con luz negra para hacerse visibles. Estas aparecerán de color amarillo verdoso fluorescente. Se obtiene un contraste bajo si la superficie a examinar no está en un ambiente totalmente oscuro.

Se debe tomar en cuenta en la interpretación de resultados que las indicaciones se extienden en la superficie en discontinuidades grandes que han retenido mucho penetrante.

Las fisuras y discontinuidades similares se muestran como una línea, fisuras muy estrechas o parcialmente cerradas mostrarán una línea de trazos. Poros gruesos pueden producir una indicación grande que cubre toda un área. Los poros finos se muestran como puntos distribuidos al azar o agrupados en áreas localizadas.

Equipamiento para examen con líquidos penetrantes

El equipo empleado para la evaluación por tintas penetrantes es, en términos generales, muy sencillo y de bajo costo.

En la práctica, se requieren equipos en dos casos: examen de piezas aisladas o examen de producción en serie.

Examen de piezas aisladas

Es necesaria la inspección de piezas aisladas en procesos de montaje, inspecciones de mantenimiento o inspecciones parciales de grandes componentes o instalaciones.

a) Inspección de montaje

Generalmente en este caso se inspeccionan soldaduras en materiales no magnéticos (aceros inoxidable austeníticos,

materiales no ferrosos), con el objeto de detectar defectos en el proceso.

Se emplea un equipo constituido por limpiador – removedor, penetrante y revelador líquido no acuoso en aerosol, en una proporción de 3:1:2, es decir que por cada unidad de penetrante se dispone de dos de revelador y tres de limpiador.

El equipo debe completarse en todos los casos con fuentes de luz, blanca para líquidos coloreados y negra para fluorescentes.

La luz blanca debe asegurar una iluminación mínima de 500 lux en la superficie a examinar. La luz negra debe ser de tipo flector, de por lo menos 100 W. En este caso debe existir un compartimiento desarmable de lona negra para oscurecer la zona bajo examen.

b) Inspección de mantenimiento

En el caso de mantenimiento se busca detectar fisuras producidas por la fatiga del material, efectos de la corrosión intercrystalina, y otros efectos producidos por el desgaste de los elementos mecánicos.

Los equipos que deben estar disponibles son prácticamente los mismos que en el caso anterior, pero puede darse el caso de que sea necesario emplear líquidos penetrantes post emulsificables y una etapa de revelado mediante polvo seco. Para esto, el examen puede realizarse en un laboratorio en el cual se disponga de instalaciones fijas, con una estación de limpieza, tanques para penetrantes y emulsificador, estación de lavado, secado y revelado.

c) Inspecciones parciales de grandes componentes o instalaciones

El examen en estos casos puede realizarse en el proceso de montaje o durante inspecciones de mantenimiento.

A los equipos enumerados anteriormente deben agregarse sistemas pulverizadores de agua para el lavado de penetrantes pre emulsificados o post emulsificables. Para la aplicación del emulsificador deben emplearse pulverizadores de baja presión o aerosoles.

Se aprobarán o rechazarán las probetas realizadas por el soldador luego de ejecutado el método de ensayos no destructivos de tintas penetrantes, que evaluará la calidad de la soldadura de acuerdo a la cantidad de defectos que se presenten.

Esta evaluación deberá ser realizada basando el análisis en los requerimientos de la Sección 6 de la norma AWS D1.1⁶³, específicamente de acuerdo a la Tabla 6.1, presentada en el Anexo 7.11.

Análisis Radiográfico⁶⁴

Los procedimientos de análisis radiográfico empleados en la inspección de soldadura deben estar estrictamente definidos por la Parte E del Capítulo 6 de la Norma AWS 1.1.

Los procedimientos radiográficos deben realizarse para equipos de rayos x o rayos gamma. La sensibilidad de la radiografía debe juzgarse mediante indicadores de sensibilidad de alambre o de agujero. Ver Anexos 7.13 y 7.14.

La película radiográfica debe seleccionarse de acuerdo a la norma ASTM E 94, estando prohibidas las pantallas fluorescentes. El tamaño de la película debe recortarse de tal forma que se

⁶³ STRUCTURAL WELDING CODE STEEL. AWS D 1.1/D 1.1 M:2002, AN AMERICAN INTERNATIONAL STANDARD

⁶⁴ STRUCTURAL WELDING CODE STEEL. AWS D 1.1/D 1.1 M:2002, AN AMERICAN INTERNATIONAL STANDARD

proporcione al menos 12 mm (½ in) de exceso desde el borde proyectado del material.

La evaluación de las discontinuidades⁶⁵ debe realizarse con una combinación de técnicas de límite de brillo y de amplitud. Los tamaños de los defectos deben especificarse en longitud y profundidad o amplitud, en donde sea aplicable. La amplitud debe relacionarse a una calibración estándar.

Las discontinuidades deben ser clasificadas en lineales o planas versus esféricas notando los cambios de amplitud mientras el transductor oscila en un arco situado en el centro del reflector.

La ubicación de las discontinuidades dentro de la sección transversal del cordón de soldadura y un punto de referencia a lo largo del eje de la soldadura, deben ser establecidos.

6.2.3. PRESENTACIÓN DE WPS

Los WPS presentados a continuación se han elaborados basados estrictamente en los requerimientos de la Norma AWS D 1.1, en su Sección 3, por lo cual no requieren de calificación.

⁶⁵ VER ANEXO 7.12.

6.3. ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

WPS

6.3.1. UNIÓN ELEMENTOS MARCOS HORIZONTALES. H1 Y H2

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 001		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 001 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1		
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. H1 Ref: Plano ES - C 100.1.1 Cod. H2 Ref: Plano ES - C 100.1.2 Espesor: 3 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: 1 Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas		
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Vertical Progreso: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>		
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50					PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna		
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna					PRECALENTAMIENTO Ninguno		
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno		
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Fecha: 2007-03-28					Firma: Firma:		

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 002		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 002 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. H1 Ref: Plano ES - C 100.1.1 Cod. H2 Ref: Plano ES - C 100.1.2 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Vertical Progreso: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 003		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 003 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. H1 Ref: Plano ES - C 100.1.1 Cod. H2 Ref: Plano ES - C 100.1.2 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: 1,5 Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Plana Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC+ <input checked="" type="checkbox"/> DC- <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC+	110	50	5	106
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

WPS

6.3.2. UNIÓN MARCOS HORIZONTALES MH POR MEDIO DE ELEMENTOS VERTICALES V1

Construcción estructura PRL1

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 004		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 004 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. MH Ref: Plano ES - M 100.1.2 Cod. V1 Ref: Plano ES - C 100.1.3 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC+ <input checked="" type="checkbox"/> DC- <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:							
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC+	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda				Firma:			
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés				Firma:			
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 005		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 005 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. MH Ref: Plano ES - M 100.1.2 Cod. V1 Ref: Plano ES - C 100.1.3 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna							
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:							
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					WPS No.		

INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					006		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 006 Revisión No.				<u>ESQUEMA DE LA JUNTA</u> Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
<u>PROCESO DE SOLDADURA</u> Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
<u>METAL BASE</u> Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. MH Ref: Plano ES - M 100.1.2 Cod. V1 Ref: Plano ES - C 100.1.3 Espesor: 3 mm							
<u>METAL DE APORTE</u> Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				<u>TÉCNICA</u> Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s			
<u>POSICIÓN DE SOLDADURA</u> Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
<u>ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS</u> Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50				<u>PRECALENTAMIENTO</u> Ninguno			
<u>PROTECCIÓN GASEOSA</u> Ninguna				<u>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</u> Ninguno			
<u>LIMPIEZA</u> Metal base: Grata Entre pases:							
<u>ENSAYOS REQUERIDOS</u>							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda				Firma:			
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés				Firma:			
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 007		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 007 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1		
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. MH Ref: Plano ES - M 100.1.2 Cod. V1 Ref: Plano ES - C 100.1.3 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas		
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Sobre cabeza Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna					PRECALENTAMIENTO Ninguno		
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno		
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.					
- Dureza		Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 008																						
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 008 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																							
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																											
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. MH Ref: Plano ES - M 100.1.2 Cod. V1 Ref: Plano ES - C 100.1.3 Espesor: 3 mm																											
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																							
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50																							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno																							
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																							
ENSAYOS REQUERIDOS Ensayo Observaciones - Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras - Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. - Dureza Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>								Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)																				
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																							
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75																				
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda				Firma:																							
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés				Firma:																							
Fecha: 2007-03-28																											

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 009		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 009 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. MH Ref: Plano ES - M 100.1.2 Cod. V1 Ref: Plano ES - C 100.1.3 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna							
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:							
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

WPS

6.3.3. ELABORACIÓN DE LA PLATAFORMA DE SOPORTE PS1

Elementos PH1 y PH2

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 010																						
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 010 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																							
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																											
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. PH1 Ref: Planos ES - C 100.1.6 Cod. PH2TH o PH2B Ref: Planos ES - C 100.1.4/100.1.5 Espesor: 3 mm																											
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: <input checked="" type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																							
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Plana Progreso: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				PRECALENTAMIENTO Ninguno																							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50																											
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																							
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				ENSAYOS REQUERIDOS <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensayo</th> <th>Observaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- Inspección visual</td> <td>Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras</td> </tr> <tr> <td>- Macrografía</td> <td>Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.</td> </tr> <tr> <td>- Dureza</td> <td>Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C</td> </tr> </tbody> </table>				Ensayo	Observaciones	- Inspección visual	Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras	- Macrografía	Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.	- Dureza	Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C												
Ensayo	Observaciones																										
- Inspección visual	Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras																										
- Macrografía	Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.																										
- Dureza	Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C																										
ENSAYOS REQUERIDOS																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>								Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)																				
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																							
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75																				
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda				Firma:																							
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés				Firma:																							
Fecha: 2007-03-28																											

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 011																						
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 011 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																							
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																											
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. PH1 Ref: Planos ES - C 100.1.6 Cod. PH2TH o PH2B Ref: Planos ES - C 100.1.4/100.1.5 Espesor: 3 mm																											
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simple <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																							
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Vertical Progreso: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>																											
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50																											
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno																							
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																							
ENSAYOS REQUERIDOS																											
<table border="0"> <tr> <td>Ensayo</td> <td>Observaciones</td> </tr> <tr> <td>- Inspección visual</td> <td>Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras</td> </tr> <tr> <td>- Macrografía</td> <td>Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.</td> </tr> <tr> <td>- Dureza</td> <td>Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C</td> </tr> </table>								Ensayo	Observaciones	- Inspección visual	Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras	- Macrografía	Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.	- Dureza	Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C												
Ensayo	Observaciones																										
- Inspección visual	Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras																										
- Macrografía	Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.																										
- Dureza	Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>								Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)																				
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																							
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75																				
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda				Firma:																							
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés				Firma:																							
Fecha: 2007-03-28																											

WPS

6.3.4. ACOPLA ESTRUCTURA PRL1 CON LA PLATAFORMA DE SOPORTE PS1

CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA ES1

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 012		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 012 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1		
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. PRL1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. PS1 Ref: Plano ES - M 100.1 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s		
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>					Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas		
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna					PRECALENTAMIENTO Ninguno		
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno		
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.					
- Dureza		Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Fecha: 2007-03-28					Firma: Firma:		

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 013		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 013 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1		
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. PRL1 Ref: Plano ES – M 100.1 Cod. PS1 Ref: Plano ES – M 100.1 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas		
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Sobre cabeza Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna					PRECALENTAMIENTO Ninguno		
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno		
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.					
- Dureza		Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Fecha: 2007-03-28					Firma: Firma:		

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 014		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 014 Revisión No.					<u>ESQUEMA DE LA JUNTA</u> Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1		
<u>PROCESO DE SOLDADURA</u> Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
<u>METAL BASE</u> Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. PRL1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. PS1 Ref: Plano ES - M 100.1 Espesor: 3 mm							
<u>METAL DE APORTE</u> Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					<u>TÉCNICA</u> Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas		
<u>POSICIÓN DE SOLDADURA</u> Tipo de soldadura: A tope Posición: Vertical Progreso: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
<u>ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS</u> Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
<u>PROTECCIÓN GASEOSA</u> Ninguna					<u>PRECALENTAMIENTO</u> Ninguno		
<u>LIMPIEZA</u> Metal base: Grata Entre pases:					<u>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</u> Ninguno		
<u>ENSAYOS REQUERIDOS</u>							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

WPS

6.3.5. COLOCACIÓN DE ELEMENTOS DE REFUERZO R1 EN LA ESTRUCTURA ES1

Construcción de estructura ET1

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 015		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 015 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Sobre cabeza Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 016																						
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 016 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																						
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																											
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm																											
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																						
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Sobre cabeza Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>					ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50																						
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna					PRECALENTAMIENTO Ninguno																						
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																						
ENSAYOS REQUERIDOS Ensayo Observaciones - Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras - Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. - Dureza Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>								Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)																				
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																							
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75																				
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Fecha: 2007-03-28					Firma: Firma:																						

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 017		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 017 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	106
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 018		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 018 Revisión No.				<u>ESQUEMA DE LA JUNTA</u> Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
<u>PROCESO DE SOLDADURA</u> Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
<u>METAL BASE</u> Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES – M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES – C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
<u>METAL DE APORTE</u> Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				<u>TÉCNICA</u> Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Recto: <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
<u>POSICIÓN DE SOLDADURA</u> Tipo de soldadura: Filete Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				<u>PRECALENTAMIENTO</u> Ninguno			
<u>ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS</u> Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50				<u>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</u> Ninguno			
<u>PROTECCIÓN GASEOSA</u> Ninguna				<u>LIMPIEZA</u> Metal base: Grata Entre pases:			
<u>ENSAYOS REQUERIDOS</u> Ensayo Observaciones - Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras - Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. - Dureza Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C							
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda				Firma:			
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés				Firma:			
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 019		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 019 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Sobre cabeza Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50			
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 020																						
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 020 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																						
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																											
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión: Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																						
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Vertical Progreso: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>																						
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50					PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna																						
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					PRECALENTAMIENTO Ninguno																						
ENSAYOS REQUERIDOS Ensayo Observaciones - Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras - Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. - Dureza Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>106</td> </tr> </tbody> </table>								Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	106
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)																				
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																							
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	106																				
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda Firma:					REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Firma:																						
Fecha: 2007-03-28																											
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA					WPS No.																						

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					021		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 021 Revisión No.				<u>ESQUEMA DE LA JUNTA</u> Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
<u>PROCESO DE SOLDADURA</u> Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
<u>METAL BASE</u> Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
<u>METAL DE APORTE</u> Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				<u>TÉCNICA</u> Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión: Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
<u>POSICIÓN DE SOLDADURA</u> Tipo de soldadura: Filete Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
<u>ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS</u> Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC+ <input checked="" type="checkbox"/> DC- <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
<u>PROTECCIÓN GASEOSA</u> Ninguna				<u>PRECALENTAMIENTO</u> Ninguno			
<u>LIMPIEZA</u> Metal base: Grata Entre pases:				<u>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</u> Ninguno			
<u>ENSAYOS REQUERIDOS</u> Ensayo Observaciones - Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras - Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. - Dureza Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C							
	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
Pase	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC+	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda Firma:							
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Firma:							
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 022																						
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 022 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																						
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																											
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm																											
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																						
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>					ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50																						
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna					PRECALENTAMIENTO Ninguno																						
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																						
ENSAYOS REQUERIDOS Ensayo Observaciones - Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras - Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. - Dureza Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>								Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)																				
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																							
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75																				
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda Firma:					REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Firma:																						
Fecha: 2007-03-28																											

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 023		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 023 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1		
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas		
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>					ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50		
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna					PRECALENTAMIENTO Ninguno		
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno		
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	106
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 024		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 024 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Sobre cabeza Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda				Firma:			
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés				Firma:			
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 025		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 025 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda				Firma:			
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés				Firma:			
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 026		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 026 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1		
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas		
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Vertical Progreso: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>					ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50		
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna					PRECALENTAMIENTO Ninguno		
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno		
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	106
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 027																						
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 027 Revisión No.					ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																						
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																											
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm																											
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm					TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																						
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Vertical Progreso: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>					ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50																						
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna					PRECALENTAMIENTO Ninguno																						
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:					TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																						
ENSAYOS REQUERIDOS Ensayo Observaciones - Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras - Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. - Dureza Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>								Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)																				
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																							
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75																				
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda Firma:					REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Firma:																						
Fecha: 2007-03-28																											

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 028		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 028 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: Filete Posición: Vertical Progreso: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS Ensayo Observaciones - Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras - Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. - Dureza Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C							
	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
Pase	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	75
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda Firma:							
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Firma:							
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 029		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 029 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Vertical Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50			
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	106
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 030		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 030 Revisión No.				<u>ESQUEMA DE LA JUNTA</u> Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
<u>PROCESO DE SOLDADURA</u> Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
<u>METAL BASE</u> Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. ES1 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. R1 Ref: Plano ES - C 100.1.7 Espesor: 3 mm							
<u>METAL DE APORTE</u> Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				<u>TÉCNICA</u> Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
<u>POSICIÓN DE SOLDADURA</u> Tipo de soldadura: A tope Posición: Sobre cabeza Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
<u>ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS</u> Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
<u>PROTECCIÓN GASEOSA</u> Ninguna				<u>PRECALENTAMIENTO</u> Ninguno			
<u>LIMPIEZA</u> Metal base: Grata Entre pases:				<u>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</u> Ninguno			
<u>ENSAYOS REQUERIDOS</u>							
Ensayo Observaciones							
- Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras							
- Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros.							
- Dureza Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C							
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	106
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

WPS

6.3.6. ELABORACIÓN ELEMENTOS DE SOPORTE HIDROCICLÓN

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 031		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 031 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. PL1 Ref: Plano SF - C 100.3.1/100.3.2 Cod. PL2 Ref: Plano SF - C 100.4.1/100.4.2 Espesor: 3 mm y 5 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: <input checked="" type="checkbox"/> Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: <input checked="" type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	50
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

WPS

6.3.7. JUNTA PLANCHA RETENCIÓN INFERIOR

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 032																					
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 032 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																						
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																										
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. CPRI1 Ref: ES - C 100.1.10 Cod. CPRI2 Ref: ES - C 100.1.11 Espesor: 3 mm y 5 mm																										
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																						
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Plana Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>				ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50																						
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno																						
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																						
ENSAYOS REQUERIDOS Ensayo Observaciones - Inspección visual Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras - Macrografía Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base. - Dureza Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>2255</td> </tr> </tbody> </table>							Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	2255
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)		Longitud del cordón (mm)																		
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																						
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	2255																			
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Fecha: 2007-03-28					Firma: Firma:																					

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 033																						
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 033 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																							
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																											
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. PL11 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. MH Ref: Plano ES - M 100.1 Espesor: 3 mm y 5 mm																											
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																							
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>																											
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50																											
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno																							
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																							
ENSAYOS REQUERIDOS <table border="0"> <tr> <td>Ensayo</td> <td>Observaciones</td> </tr> <tr> <td>- Inspección visual</td> <td>Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras</td> </tr> <tr> <td>- Macrografía</td> <td>Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.</td> </tr> <tr> <td>- Dureza</td> <td>Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C</td> </tr> </table>								Ensayo	Observaciones	- Inspección visual	Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras	- Macrografía	Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.	- Dureza	Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C												
Ensayo	Observaciones																										
- Inspección visual	Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras																										
- Macrografía	Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.																										
- Dureza	Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>2255</td> </tr> </tbody> </table>								Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	2255
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)																				
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																							
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	2255																				
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda Firma: REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés Firma: Fecha: 2007-03-28																											

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 034		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 034 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. PL11 Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. MH Ref: Plano ES - M 100.1 Espesor: 3 mm y 5 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	1736
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

WPS

6.3.8. JUNTA DE UNIÓN MARCOS INFERIORES

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 035																						
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 035 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1																							
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																											
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. MH Ref: Plano ES - M 100.1 Cod. MHT Ref: Plano ES - M 100.1 Espesor: 3 mm y 5 mm																											
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: <input checked="" type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas																							
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Horizontal Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>																											
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50																											
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno																							
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno																							
ENSAYOS REQUERIDOS																											
<table border="0"> <tr> <td>Ensayo</td> <td>Observaciones</td> </tr> <tr> <td>- Inspección visual</td> <td>Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras</td> </tr> <tr> <td>- Macrografía</td> <td>Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.</td> </tr> <tr> <td>- Dureza</td> <td>Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C</td> </tr> </table>								Ensayo	Observaciones	- Inspección visual	Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras	- Macrografía	Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.	- Dureza	Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C												
Ensayo	Observaciones																										
- Inspección visual	Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras																										
- Macrografía	Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.																										
- Dureza	Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th colspan="2">Metal de aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (mm/s)</th> <th rowspan="2">Longitud del cordón (mm)</th> </tr> <tr> <th>Denominación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>E 6010</td> <td>3,17</td> <td>DC⁺</td> <td>110</td> <td>50</td> <td>5</td> <td>7348</td> </tr> </tbody> </table>								Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	7348
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)																				
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																							
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	7348																				
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda				Firma:																							
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés				Firma:																							
Fecha: 2007-03-28																											

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					WPS No. 036		
Compañía: Escuela Politécnica Nacional WPS No. 036 Revisión No.				ESQUEMA DE LA JUNTA Junta: B - P1a. Según AWS D 1.1			
PROCESO DE SOLDADURA Proceso: SMAW Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Soldadura: Hardfacing <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Build up <input checked="" type="checkbox"/> Buttering <input type="checkbox"/> Hardbanding <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>							
METAL BASE Material: Acero de bajo carbono Grado y especificación: ASTM A 36 Piezas a soldar: Cod. PL11 Ref: Plano ES – M 100.1 Cod. T1 Ref: Plano ES – M 100.1 Espesor: 3 mm y 5 mm							
METAL DE APORTE Tipo de electrodo: Electrodo recubierto Especificación: E 6010 Diámetro: 3,17 mm				TÉCNICA Ángulo de avance: 30° con respecto a la vertical Velocidad de avance: 5 mm/s Cordón: Recto <input checked="" type="checkbox"/> Ondulante <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Capas: Simples <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Número de pases: Distancia entre pases: Tiempo entre pases: Control de distorsión Sujeción: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Medio de sujeción: Mordazas			
POSICIÓN DE SOLDADURA Tipo de soldadura: A tope Posición: Plana Progreso: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS Tipo: AC <input type="checkbox"/> DC ⁺ <input checked="" type="checkbox"/> DC ⁻ <input type="checkbox"/> Amperaje: 110 Voltaje 50							
PROTECCIÓN GASEOSA Ninguna				PRECALENTAMIENTO Ninguno			
LIMPIEZA Metal base: Grata Entre pases:				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Ninguno			
ENSAYOS REQUERIDOS							
Ensayo		Observaciones					
- Inspección visual		Apariencia uniforme, sin la presencia de mordeduras					
- Macrografía		Sobre las dos caras del corte de las secciones transversales no debe existir falta de fusión, ni mordeduras, ni poros. Las fisuras no deben prolongarse del metal de aporte al metal base.					
- Dureza		Debe permanecer en un rango de 55 a 65 Rockwell C					
Pase	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Longitud del cordón (mm)
	Denominación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)			
1	E 6010	3,17	DC ⁺	110	50	5	1736
PREPARADO POR: Santiago Medina/Gabriel Miranda					Firma:		
REVISADO Y APROBADO POR: Ing. Miguel Villacrés					Firma:		
Fecha: 2007-03-28							

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN

6.4. BASTIDOR - ESTRUCTURA METÁLICA

Previamente se ha justificado la selección del material de la estructura metálica, concluyendo finalmente que la mejor opción, tanto por propiedades mecánicas, disponibilidad y costo, es el acero comercial de bajo carbono A36 (AISI 1010), recubierto con pintura anticorrosiva.

Además, se han propuesto los WPS necesarios para el ensamblaje de dicha estructura.

A continuación, se detallan los pasos a seguir en su construcción.

6.4.1. ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR

El proceso constructivo del bastidor implica procesos de medición, corte y soldadura, además de la limpieza de los elementos.

Los materiales necesarios para el proceso se enlistan a continuación:

- Flexómetro de 3 m de longitud (milímetros y pulgadas)
- Sierra manual, de 300 mm de longitud. Con cuchilla de acero rápido.
- Juego de limas
- Soldadora SMAW
- Soplete y compresor
- Solvente (Thinner)
- Retazos de tela o franela
- Escuadra
- Tiza
- Grata
- Lija

6.4.2. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

La materia prima con la que será construida la estructura metálica son perfiles de acero A36, de sección transversal cuadrada, como se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 17. Características de la materia prima

Material	Especificación	Ancho	Alto	Longitud	Espesor
Acero de bajo carbono	A 36	3 in (75 mm)	3 in (75 mm)	236 in (6000 mm)	1/8 in (3 mm)

Es necesario construir los elementos del bastidor mediante procesos de corte con sierra de acero rápido. Deberán elaborarse plantillas para el corte de las secciones de soldadura a 45°, empleando el plano de montaje de la estructura en escala 1:1. Posteriormente se procederá a eliminar aristas vivas y a limpiar la superficie, donde sea necesario empleando grata, lija y solvente.

Las dimensiones y forma de los elementos a construirse se especifican en cada uno de los planos de taller. En la siguiente tabla se enumeran los elementos que conformarán la estructura.

Tabla 18. Componentes de la estructura

CÓDIGO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
H1	4	Elemento horizontal, marco superior e inferior.
H2	4	Elemento transversal, marco superior e inferior
V1	4	Elemento vertical de acople de los marcos superiores e inferiores.
PH1	2	Elemento transversal, alma de la plataforma de soporte
PH2	4	Elemento longitudinal, constituyentes de la plataforma de soporte.
R1	24	Elemento de refuerzo de la estructura
PLI1	1	Plancha de retención inferior
T1	4	Perfiles C. Conformarán las pistas para las paletas del montacargas que manipulará la unidad de filtración
H2	2	Elementos transversales de la base inferior
B2	4	Elementos longitudinales de la base inferior, unen los perfiles C con los elementos B1
B3	2	Elementos longitudinales de la base inferior, enlazan los dos perfiles C internos de alojamiento de las paletas del montacargas

Cada uno de los elementos constituyentes de la estructura metálica deberá ser construido de acuerdo al respectivo plano de montaje (3.2245 – 001).

El ensamblaje de la estructura metálica se realizará en ocho etapas, tal como se especifica a continuación:

Tabla 19. Etapas de ensamblaje de la estructura metálica

Etapa	Objetivo
PRIMERA	Construcción de los marcos superior e inferior de la estructura (horizontales)
SEGUNDA	Instalación de la plancha de retención de fugas
TERCERA	Construcción de la base inferior
CUARTA	Instalación de la base inferior
QUINTA	Acople de los marcos horizontales mediante elementos verticales, para formar el marco exterior de la estructura.
SEXTA	Construcción de la plataforma de soporte de los elementos del sistema de filtrado e impulsión
SÉPTIMA	Acople del marco exterior de la estructura con la plataforma de soporte
OCTAVA	Instalación de los elementos de refuerzo de la estructura

Primera etapa

Deben unirse los elementos H1 y H2 para conformar dos marcos rectangulares, (marcos horizontales superior e inferior) mediante los procedimientos de soldadura especificados en los WPS 001, 002 y 003. Durante los procesos de soldadura es necesario asegurar la correcta alineación de los elementos, así como la perpendicularidad de los elementos entre sí, utilizando la escuadra.

Segunda etapa

Durante esta etapa deberá colocarse la plancha de retención de fugas tal como se indica en el plano de montaje y según el procedimiento especificado en los WPS 033 y 034. (la plancha inferior deberá construirse según su plano de taller y la especificación de soldadura del WPS 032)

Tercera etapa

Según el plano de taller y siguiendo los WPS, deberá ensamblarse la base inferior de la unidad de filtración. Las pistas serán colocadas en la base inferior mediante la soldadura de cuatro perfiles C (elementos T1) con los elementos B1, B2 y B3 que deberán ser ensamblados, según se especifica en el plano 3.2245 – 101 siguiendo los procedimientos de soldadura de los WPS 002, 003, 014.

Cuarta etapa

Al marco horizontal inferior, luego de habersele acoplado la plancha de retención inferior, se le soldará la base inferior, en donde se encuentran las pistas de alojamiento para las paletas del montacargas. (ensamblaje del marco horizontal inferior con la base inferior). Según los WPS 035 y 036.

Quinta etapa

Los dos marcos horizontales serán acoplados empleando los elementos V1, para formar una estructura en forma de paralelepípedo rectángulo. Se especifican los procedimientos de soldadura a seguir en los WPS 004, 005, 006, 007, 008 y 009.

Sexta etapa

En esta etapa se elaborará la plataforma de soporte de los elementos del sistema de filtrado e impulsión. La forma y las dimensiones de la plataforma se especifican en el plano de montaje de la estructura. Los procedimientos de soldadura necesarios para realizar dicha operación se especifican en los WPS 010 y 011.

Séptima etapa

Durante la cuarta etapa se debe acoplar la estructura externa con la plataforma de soporte, empleando los procedimientos de soldadura especificados en los WPS 012, 013 y 014.

Octava etapa

Luego de concluir la cuarta etapa, se deben colocar los elementos de refuerzo de la estructura (R1). Esta etapa deberá realizarse en tres partes:

- Colocación de los elementos de refuerzo inferiores.
- Colocación de los elementos de refuerzo superiores.
- Colocación de los elementos de refuerzo horizontales.

Los elementos de refuerzo inferiores serán colocados según el plano de montaje de la estructura, siguiendo los WPS 015, 016, 017, 018, 019 y 020.

Para colocar los elementos de refuerzo superiores deberán observarse los WPS 021, 022, 023, 024, 025 y 026.

Los elementos horizontales serán colocados según se indica en el plano de montaje y los WPS 026, 027, 028, 029 y 030.

Inspección de la soldadura

La detección de defectos en la soldadura deberá realizarse de acuerdo a los procedimientos de inspección por medio de tintas penetrantes que se detallan en el apartado 6.2.2. Deberán tomarse en cuenta durante este procedimiento los requerimientos y las restricciones que impone la norma para aprobar o descartar cordones de soldadura.

Pintado de la estructura

La estructura será protegida por un recubrimiento anticorrosivo que será aplicado una vez finalizado su ensamblaje y la respectiva preparación de la superficie (lijado y limpieza con solvente). En primer lugar se aplicará el fondo anticorrosivo, seguido de una capa de pintura. Ambas capas se aplicarán con un soplete y un compresor.

Toda la superficie inferior de la estructura recibirá protección adicional. En las superficies que van a estar sometidas a rozamiento, o sobre las cuales se van a aplicar cargas, deberá ser colocada protección de lámina metálica pegada con brea (chova). Este

recubrimiento debe ser aplicado en caliente para asegurar su correcto pegado.

6.4.3. INSTALACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE FILTRADO E IMPULSIÓN

Maquinas y herramientas necesarias

La colocación de los elementos del sistema de filtrado de la unidad de filtración, implica únicamente la sujeción de los componentes por medio de pernos 5/8".

La tubería que conduce el agua de formación de un elemento a otro será ensamblada por componentes de un material polimérico: poli vinil cloruro (PVC). Este material, como se ha acotado anteriormente, presenta características de resistencia mecánica muy adecuadas (La tubería resiste presiones de hasta 150 psi, con un espesor de 3 mm). Es muy importante además acotar que la principal característica de la tubería empleada es su resistencia a la corrosión, lo cual tiende a prolongar el tiempo de vida del equipo.

Los únicos elementos del sistema de filtrado que no serán poliméricos, son las boquillas de acople de entrada a la bomba y de salida del tanque de filtros. Estos elementos son construidos de acero inoxidable 316, puesto que por seguridad se requiere una mayor resistencia mecánica, además de la resistencia a la corrosión. Las herramientas e insumos que se emplearán en la instalación de los equipos son:

- Juego de herramientas completo. (rachas hexagonales, llaves, palancas de torque)
- Sierra
- Llave inglesa
- Solvente
- Pegamento para tubos PVC

Proceso de instalación de los elementos de los sistemas de filtrado y de bombeo

El primer elemento del sistema de filtrado que será instalado en la estructura terminada será el tanque de presión (filtros). El tanque de filtros deberá ser colocado sobre la plataforma de soporte como se indica en el plano general de montaje, sujeto por cuatro pernos 5/8".

El siguiente elemento a colocarse sobre la estructura será el hidrociclón, que irá sujeto mediante los elementos de sujeción (previamente contruidos según los planos 3.2245 – 102 y 3.2245 – 103, siguiendo el procedimiento de soldadura especificado en el WPS 31). Los elementos de sujeción serán fijados al bastidor mediante cuatro pernos 5/8", como se indica en el plano general de montaje.

A continuación deberá colocarse la bomba centrífuga, acoplada al motor. Este componente se fijará al bastidor mediante cuatro pernos 5/8", según el plano general de montaje.

La tubería que comunica el hidrociclón con el tanque de filtros deberá ser ensamblada previamente a su instalación. Para este fin, deberán conectarse los siguientes elementos: Brida 4", tubo 4", codo 4", neplo 4", codo 4", neplo 4" de salida del hidrociclón, codo 4" de salida del hidrociclón. (ver plano 3.2245 – 001)

Una vez construida esta tubería, se sujetarán al tanque de filtros por medio de los 4 pernos de la brida (empleando el empaque respectivo, incluido con la brida). El acople con el hidrociclón es mucho más sencillo, sin embargo debe realizarse con precaución, para que el codo de salida del hidrociclón y la tobera de salida queden perfectamente acoplados.

El acople del hidrociclón con la bomba deberá realizarse una vez que la tubería que los une sea ensamblada.

Para este efecto, deberán acoplarse: el neplo de entrada al hidrociclón, la válvula check de 4" y el neplo de salida de la bomba.

Para acoplar esta tubería a la salida de la bomba, deberá extraerse el codo de salida de la bomba, unirse al sistema y posteriormente acoplar el neplo de entrada del hidrociclón con su accesorio de

unión. Una vez realizada esta operación, se procede a colocar el codo de salida de la bomba en su lugar, sujeto por los cuatro pernos respectivos.

Para la salida del filtro deberá acoplarse a la brida de 4 in, el neplo de rosca NPT del mismo diámetro.

A la entrada de la bomba será acoplado el neplo roscado hacia la entrada de la bomba y rosca NPT en el extremo exterior.

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN

6.5. MANTENIMIENTO DE LOS COMPONENTES DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN

6.5.1. MANTENIMIENTO A LA ESTRUCTURA METÁLICA

El diseño de la estructura metálica ha satisfecho los requerimientos de resistencia del sistema con un margen de seguridad muy amplio, además que las cargas que soporta la estructura son únicamente cargas muertas debidas al peso de los componentes del sistema y las propias cargas debidas al peso de los elementos de la estructura.

Por este motivo, la estructura no va a estar sometida a esfuerzos de fatiga, pues no existen cargas fluctuantes en ciclos regulares que actúen sobre la misma.

Sin embargo, existe un problema que se debe tomar muy en cuenta mientras el equipo se encuentra operando: la corrosión.

Este fenómeno va a ser una condicionante muy crítica para el mantenimiento de la estructura.

Para evitar este inconveniente se ha implementado un procedimiento de pintura anticorrosiva para la estructura metálica, pero sin embargo, debe planificarse un protocolo de inspecciones para asegurar que la protección anticorrosiva no se deteriore.

El protocolo se detalla a continuación:

- Realización de inspecciones visuales de la estructura antes y después de cada movilización del equipo, sobre todo en los

lugares que podrían resultar más afectados por roces y golpes durante el transporte.

- Inspección visual de la pintura sobre los cordones de soldadura.

Es importante el evitar que se produzcan procesos de corrosión, puesto que la limpieza de las partes a pintar se vuelve más compleja, e incluso no se asegura que se detenga la corrosión.

- Pintado de zonas específicas de la estructura, cuyo recubrimiento esté visiblemente deteriorado.

6.5.2. MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS Y ELEMENTOS DE ACOPLE

La tubería PVC tiene una mayor confiabilidad que la tubería metálica en cuanto a la presencia de fugas, puesto que procesos de corrosión por picaduras quedan totalmente descartados, sin embargo es posible que se produzcan golpes involuntarios a la tubería durante el traslado o la operación que causen fisuras.

Para controlar estos eventos, se procederá a realizar inspecciones visuales a la tubería durante la operación del equipo.

En caso de presentarse fisuras y por lo tanto fugas, el equipo debe ser detenido y drenado, para reparar las fugas sustituyendo los elementos deteriorados.

Los elementos de entrada y salida del sistema deben ser revisados empleando el procedimiento de inspección por tintas penetrantes, si se sospecha que existen fisuras que no se detectan durante la inspección visual. De existir fisuras, estas deben ser rellenadas con soldadura.

6.5.3. MANTENIMIENTO DEL HIDROCICLÓN

El hidrociclón, por sus características técnicas, no requiere de procedimientos muy tecnificados para la realización del mantenimiento. Incluso procesos de corrosión quedan descartados, puesto que el material del que estará compuesto tiene una alta estabilidad química.

Pero es necesario realizar lavados con agua limpia cada 100 horas de operación para asegurar que no se acumulen depósitos de arena y otros precipitados que puedan variar progresivamente la geometría de la superficie interior del mismo.

6.5.4. MANTENIMIENTO DEL TANQUE DE FILTROS

Construido de acero inoxidable 316, no presenta cuadros de corrosión. Los elementos que deben ser sustituidos son los cartuchos de polipropileno que funcionan como elemento filtrante.

Este procedimiento deberá realizarse cada 100 horas de operación, según la recomendación del fabricante.

Es importante realizar el lavado del sistema descrito para el mantenimiento del hidrociclón, previamente habiendo extraído los cartuchos, para asegurar de esta manera que se eliminen residuos de arena y precipitados que puedan incrustarse en las paredes interiores del tanque de filtros.

6.5.5. MANTENIMIENTO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA Y EL MOTOR

Las operaciones de mantenimiento de estos dos equipos requieren de un tratamiento muy diferente a los elementos comprendidos anteriormente.

Por este motivo se ha visto necesario hacer referencia completamente al manual de operación y mantenimiento del equipo provisto por el fabricante. Briggs – Stratton. (ver anexo 5.3.)

6.5.6. COSTOS ASOCIADOS CON EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Según lo estipulado en el capítulo anterior, los costos de mantenimiento se desglosan como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 20. Costos de mantenimiento

COSTO DE MANTENIMIENTO			
Equipo	Tareas	Costo Unitario/ Overhaul	Subtotal
Estructura metálica	Inspección Pintado Soldadura	20	20
Tuberías y elementos de acople	Sustitución total de elementos	73,41	73,41
Tanque de filtros. Filtros de cartucho PARKER 30 in. 10 micras. O`ring 222	Sustitución de filtros	317,02	317,02
Bomba y motor Biggs Stratton 5,5 HP, 200 gpm, 70 m.	Mantenimiento total motor y bomba	200	200
Total			610,43

Los costos de mantenimiento desglosados presentan un valor muy elevado, sin embargo, todas las tareas reparación no se realizan simultáneamente, sino que cada elemento tiene su periodo de mantenimiento. Para más detalles se recomienda ver las proformas del Anexo 5.

DESGLOSE DE COSTOS DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN

6.6. COSTOS DE FABRICACIÓN DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN

Los costos de fabricación de la unidad de filtración deben separarse en tres categorías:

- Costos de equipos
- Costo de materiales e insumos
- Costo de mano de obra directa

El costo total del equipo será calculado mediante la suma de los costos de cada elemento de la siguiente tabla:

Tabla 20. Costos de los constituyentes de la unidad de filtración⁶⁶

COSTO DE EQUIPOS			
Equipo	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Hidrociclón Vortex Ventures V – ST – 4 (Incluye accesorios)	1	3500	3500
Tanque de presión portafiltros Fulflo	1	6572,63	6572,63
Provisión de filtros de cartucho PARKER 30 in.10 micras. O`ring222 para funcionamiento a 1año	15x6 (⁶⁷)	21,13	1902,12
Bomba y motor Biggs Stratton 5,5 HP, 200 gpm, 70 m.	1	416,69	411,04
Válvula swing check 130 D = 4 in	1	242,69	242,69
Bridas con prensa estopa D = 4 in	2	41,55	41,55
COSTO DE MATERIALES E INSUMOS			
Material	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Tubo PVC 4 in	1	47,77	47,77
Codos PVC 4 in	2	3,66	7,32
Pegamento sellante para tubos PVC. ¼ gal	1	18,32	18,32
Neplo Acero inoxidable 316, D = 4 in. Rosca externa NPT	1	28,50	28,50
Neplo Acero inoxidable 316, D = 4 in. Rosca externa NPT y rosca interna	1	32,00	32,00
Pernos UNC 5/8 in x 5 in C8.8	12	0,80	9,60
Pernos UNC 5/8 in x 3 in C 8.8	16	0,65	10,40
Tubo cuadrado 75 x 75 x 3mm	8	33,30	266,40
Perfil C 80 x 40 x 3	2	17,07	34,14
Plancha Acero corrugado A36	2	36,00	72,00
Electrodos AGA E6011 k15 1/8in	10 Kg	2,60	26,00
Recubrimiento Chova	2 m ²	10	20
Pintura Anticorrosiva	1 galón	15,06	15,06
Fondo Anticorrosivo	1 galón	15,06	15,06
Solvente (Thinner)	1 galón	12,00	12,00
COSTO DE LA MANO DE OBRA DIRECTA Y OTROS COSTOS			
Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Mecánico industrial	5 horas	4	20
Soldador calificado A	10 horas	7	70
Soldador calificado A	10 horas	7	70
Otros			100
TOTAL (USD)			13538,6

⁶⁶ VER LAS PROFORMAS EN LOS DOCUMENTOS ANEXOS (ANEXO 5)

⁶⁷ JUEGO DE 15 CARTUCHOS REEMPLAZADOS CADA 2 MESES DE OPERACIÓN

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

La necesidad de filtrar agua de formación se debe a los requerimientos de calidad de agua que son necesarios para la preparación de cementos, lodos y geles que se emplean en el tratamiento y producción de pozos.

Para la inyección de agua para mantenimiento de pozos (mantenimiento de la presión interna del pozo), es necesario eliminar los sólidos en suspensión del fluido inyectable para evitar el taponamiento de los poros de la formación rocosa y para evitar la acumulación de sedimentos en el fondo del pozo.

Las condicionantes más críticas para el diseño de la unidad de filtración se relacionan directamente con sus requerimientos operacionales (Caudal, presión, tamaño de partículas en suspensión, calidad del agua a la salida del proceso de filtrado).

Las variables principales que se manejan en un sistema de filtrado, inciden directamente en la selección del medio de separación, pero además factores, como la corrosividad del agua, limitan la gama de elementos disponibles para conformar el sistema de filtrado.

El agua de formación presenta un alto contenido de sólidos en suspensión, que dependiendo del tipo de formación subterránea se encuentra en un rango de 30 a 60 NTU (225 a 450 ppm SiO₂).

En el agua de formación existe la presencia de sólidos disueltos, los cuales en ciertos casos precipitan y forman incrustaciones que afectan la geometría de las superficies internas de las tuberías y demás elementos de los sistemas de tratamiento.

Los niveles de corrosión que se manejan debido a la cantidad de elementos disueltos en el agua de formación exige la utilización de materiales con una estabilidad química excepcional. Por este motivo, la tubería que se empleará en el sistema será construida de tubos y acoples de Poli Vinil Cloruro.

El método de separación de partículas sólidas en suspensión del agua de formación más difundido actualmente consiste en la utilización de filtros mecánicos de malla, de pantalla o de cartucho dispuestos en varias etapas consecutivas.

El desecho de los filtros genera costos fijos de operación, que a largo plazo resulta una inversión considerablemente alta.

Los costos operacionales de filtrado de agua de formación se pueden restringir considerablemente si se sustituye un equipo de filtros por un equipo de separación sin elementos degradables. Para el presente caso se ha sustituido un tanque de filtros de cartucho por un hidrociclón.

El tanque de filtros será de acero inoxidable 316. Los acoples a la entrada y salida del sistema serán del mismo acero. El material de la bomba será duraluminio. El hidrociclón se ha elegido de polipropileno, el cual es un material altamente resistente a la corrosión.

El tipo de bomba seleccionada para la impulsión del agua de formación dentro del sistema fue elegido tomando en cuenta el tipo de fluido que se maneja. En primer lugar, la bomba es de tipo centrífuga, con rodete abierto. La bomba movida por un motor de combustión interna, lo cual otorga independencia al sistema dentro de la locación petrolera.

Los acoples de entrada y de salida del sistema se han diseñado con un diámetro de 4 in, al igual que la tubería dentro del sistema, para reducir las pérdidas y evitar caídas de presión debidas al ensanchamiento o al estrechamiento de las tuberías.

Los acoples, de acero inoxidable presentan en sus extremos rosca NPT estandarizada que se emplea muy regularmente en la industria petrolera, pues la mayoría de equipos están contruidos según normas estadounidenses.

7.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda la construcción del equipo diseñado en un plazo máximo de 6 meses, puesto que de lo contrario, los costos especificados en las proformas no serían útiles.

Las esquinas de los elementos horizontales de la estructura pueden lograrse de una forma más adecuada empleando plantillas realizadas a partir de los detalles del plano de montaje de la estructura en escala 1:1.

Al momento de construir la estructura metálica, es necesario realizar los procedimientos de soldadura estrictamente como se especifica en los WPS presentados en el Capítulo 6.

Se recomienda realizar la calificación de los soldadores de acuerdo a los WPS presentados en el Capítulo 6, según la Sección 4 de la Norma AWS D 1.1.

La limpieza de los elementos de la estructura previa a la soldadura es muy importante para evitar incrustaciones en los cordones.

El pintado de la estructura luego de su ensamblaje evitará los procesos de corrosión que pueden producirse y la protección impermeable chova para la base proporcionará una protección adicional, por lo que se recomienda realizar inspecciones de la pintura y la protección impermeable.

Es importante realizar los procedimientos de ensamblaje del equipo específicamente como se describe en el manual de construcción y mantenimiento para evitar posibles contratiempos durante el proceso.

Es imperativo revisar los manuales de operación de la bomba y su motor, para realizar su correcta operación y mantenimiento.

El tiempo de vida de los filtros de cartucho ha sido estimado por el fabricante para 100 horas de uso continuo, es decir, aproximadamente 30 días de operación del equipo. Se recomienda no exceder el tiempo de operación de los cartuchos, además de evitar su lavado y reutilización, puesto que no se puede asegurar la calidad del agua que se obtenga de la unidad de filtración si no se sustituyen los filtros a tiempo.

Debe revisarse el correcto acople de la tapa del tanque de filtros antes de poner en funcionamiento el equipo para evitar fugas durante la operación.

Se recomienda la inspección periódica de todo el equipo (mensualmente) para evitar que el desgaste de los elementos produzca fallas durante la operación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Irving H. Shames, **Mecánica de Fluidos**, McGraw - Hill Interamericana S.A., Bogotá – Colombia, 1995.
2. Cengel - Boles, **Termodinámica**, McGraw – Hill Interamericana, 1996.
3. Hicks Tyler, **Bombas, su selección y aplicación**, Compañía Editorial Internacional, México, 1974.
4. I. Mirolúbov, **Problemas de Resistencia de Materiales**, 1985.
5. Shigley Edward, **Manual de Diseño Mecánico**, Mc Graw - Hill, México, 1989.
6. INEN, **Código de Dibujo Técnico Mecánico**, Quito - Ecuador, 1989.
7. Castro Carlos, **Tesis: Diagnóstico y Propuesta para el Control de los Depósitos Sólidos en los Sistemas de Reinyección de Agua del Campo Shushufindi de Petroproducción**, Quito, EPN, 2000.
8. **Manual de Tratamiento de Aguas**, México, Ed. Limusa, 1991.
9. Uhlig Herbert, **Corrosión y Control de Corrosión**, URMO, Bilbao, 1970.
10. Corroton, **A Series of Papers Reprinted for Research**, London, Butterworks Publications, 1953.
11. Lipson Charles, **Importancia del Desgaste en el Diseño**, México, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1970.
12. **Norma ATSM E-175**
13. **Norma MIL-I-6866-B**
14. **Structural Welding Code Steel**, AWS D 1.1/D 1.1 M: 2002, An American International Standard.
15. Información de la SPE:
 - 15.1. **Produced Water Reinjection in Petrobras Fields: Challenges and Perspectives**
Código: 94705-MS.
 - 15.2. **Comprehensive Sistem for Treatment and Injection of Produced Water: Field Case**
Código: 63169-MS.
 - 15.3. **Sand Control Techniques in Shangli Oil Field**
Código: 14840-MS.

- 15.4. Use of Low-Shear Pumps and Hydrocyclones for Improved Performance in the Cleanup of Low-Pressure Water**
David A. Flanigan, James E. Stolhand, and Elwyn Shimoda, Conoco Inc.; Frank Skilbeck, Conoco Specialty Products Ltd.
Código: 19743-PA
- 15.5. Enhanced Deoiling Hydrocyclone Performance without Resorting to Chemicals**
A B Sinker, Cyclotech Ltd; M Humphris, BP Amoco Exploration; N Wayth, BP Amoco Exploration
Código: 56969-MS
- 15.6. Hydrocyclone Produced Water Treatment for Offshore Developments**
Choi, M.S., Conoco Inc.
Código: 20662-MS
- 15.7. Hydrocyclones: A Solution to Produced-Water Treatment**
Meldrum, N., Conoco U.K. Ltd.
Código: 16642-PA
- 15.8. On the Analysis of the Flow and Particle Motion in a Hydrocyclone**
Kang, Joe M., The University of Tulsa
Código: 13407-MS
- 15.9. The Separation of Solids and Liquids With Hydrocyclone-Based Technology for Water Treatment and Crude Processing**
Ditria, J.C., Hoyack, M.E.
Código: 28815-MS
- 15.10. Hydrocyclone Separation: A Preferred Means of Water Separation and Handling in Oilfield Production**
Stroder, S.M., ARCO Oil & Gas Co.; Wolfenberger, E.E., Vortoil Separation Systems
Código: 27671-MS

15.11. Comparison of Plate Separator, Centrifuge and Hydrocyclone

van den Broek, Wim M.G.T., Delft University of Technology; Plat, Robert, State Oil Company Surinam N.V.; van der Zande, Mark J., Delft University of Technology

Código: 48870-MS

15.12. The Rotating Deoiling Cyclone: Recent Development and Operating Experience

Triponey, G., TOTAL; Woillez, J., CERG; Bezard, C., NEYRTEC

Código: 25034-MS

15.13. Static Hydrocyclones: A Cost Effective Alternative for Produced Water Treatment

Choi, Michael S., CONOCO

Código: 21187-MS

16. Información de Internet:

16.1. Filtros e Hidrociclones

- <http://www.usfilter.com/NR/rdonlyres/14FDD092-668D-4794-B907-0D18C297E181/0/CARTRIDGEFILTERCARTRIDGE.pdf>
- www.emea.donaldson.com/en/industrialair/support/datalibrary/004247.pdf
- www.pall.com/hydraulic_26911.asp
- <http://beckyroom.localgirlcams.com/>
- <http://www.usfilter.com/NR/rdonlyres/53B46150-21D3-4875-9806-7C186B3F8F58/0/PrePureDPpolyprodepthmediafiltcart.pdf>
- <http://www.usfilter.com/NR/rdonlyres/8B1FCB03-ED49-4676-9CEC-402D4ACA966E/0/NTseriesgradedpolyprofiltcart.pdf>
- <http://www.vortexventures.com/Literature/SPINTOP%20Hydrocyclone.pdf>
- <http://www.vortexventures.com/Literature/Hi%20Temp%20Spintop%20Hydrocyclone.pdf>
- www.vortexventures.com/Literature/Literature.htm
- <http://www.fluidsystems.us/pdf/desanders.pdf>
- <http://www.vortexventures.com/Products/SpintopHydrocyclone/SpintopHydrocyclone.htm>

- <http://www.natcogroup.com/Content.asp?t=ProductPage&ProductID=80>
- <http://www.lakos.com/applications/App-OilGas.htm>
- <http://www.lakos.com/applications/App-OilGas.htm>
- <http://www.floatex.co.uk/brochures/Floatex%20Cyclone.pdf>
- <http://www.derrickequipment.com/pdf/FLC200092903.pdf>
- <http://delgadillogomez.googlepages.com/hydrocyclone2>
- http://delgadillogomez.googlepages.com/figure_hydrocyclone
- http://delgadillogomez.googlepages.com/flujo_74_mm
- www.eralgroup.com

16.2. Agua de formación

- http://www.frm.utn.edu.ar/investigacion/compuquim/trat_preliminar.html
- <http://members.tripod.com/Arturobola/turbi.htm>

16.3. Motores y Bombas

- www.goulds.com/product.asp?ID=179&MASTERID
- www.staritepumps.com
- www.process-controls.com
- www.thomasnet.com/products/pumps-gas-gasoline-engine-driven-64522204-1.html
- gongol.net/redirect
- shop.briggsandstratton.com
- www.shinhwan.co.kr/use
- www.themotorbookstore.com
- www.jackssmallengines.com
- www.briggsandstratton.com
- www.arcticcat.nu
- www.gleebirmingham.com
- 212.114.92.237/Main/Products,49,49.aspx
- www.dynafog.com/pdf/cdftrifoldbrochure.pdf

ANEXOS
(revisar el documento físico del proyecto)