

5 **DISPOSITIVO INTENSIFICADO PARA LA REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES POR FLOTACIÓN Y PRECIPITACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIBLES POR BARRIDO**

SECTOR TECNOLÓGICO

- 10 Esta invención hace referencia a un dispositivo utilizado en diferentes industrias, sin embargo, el enfoque del presente documento se centra en la petrolífera. En dicha industria específicamente para el tratamiento de agua (con trazas de grasas y sólidos no sedimentables) de producción proveniente de los hidrocarburos extraídos del subsuelo.

ESTADO DE LA TÉCNICA

- 15 Debido a las diferentes regulaciones ambientales actuales es necesario cumplir con una calidad específica del agua de producción o industrial una vez se separa del crudo para darle una disposición final. Para tal fin, en la industria se han utilizado diversas técnicas que se muestran a continuación:
- 20 **Arreglos de placas de coalescencia:** Estos arreglos mejoran la eficiencia de la técnica anterior ya que ayudan a romper las emulsiones y a sedimentar los sólidos aceitosos en forma de lodos. Al igual que la filtración y la sedimentación, se requiere de espacio suficiente y de un alto tiempo de residencia para lograr la separación.
- 25 **Filtración:** Es un proceso que se aplica principalmente para retirar partículas sólidas. Su eficiencia depende del grado de emulsificación del crudo, así como del espacio y del tiempo de residencia con que se cuenta para separar los sólidos suspendidos.
- 30 **Flotación:** Es una de las técnicas más eficientes para la separación de partículas pequeñas o en estado coloidal. Consiste en la inyección de agua presurizada que contiene gas disuelto formando microburbujas. Las burbujas se pueden generar bajo dos principios diferentes:
- 35 **Flotación por gas disuelto (DGF).** En este sistema de flotación se produce una dispersión de finas burbujas de gas al reducir drásticamente la presión de una corriente saturada con gas. Para implementar esta técnica se necesita un compresor, una cámara presurizada con sistema de recirculación para forzar el gas que va a disolverse hasta saturar la fase acuosa y un sistema para controlar la presión al liberar la corriente de agua saturada, lo cual

5 incrementa notablemente los costos del proceso. Los valores típicos del tamaño de burbuja generado oscilan entre 10 y 100 micras (J. E. Forero, s.f.).

10 **Flotación por gas inducido (IGF).** Esta técnica es ampliamente usada en el tratamiento de aguas de producción. Utiliza equipos motorizados que inducen el gas dentro de la fase acuosa, flotadores mecánicos que succiona agua y ésta a su vez succiona el gas o aire del ambiente. A la salida del impeler del flotador se producen las burbujas a través de las perforaciones que posee. Los valores típicos de tamaño de burbuja generado son superiores a 100 micras, por lo cual se debe incrementar la cantidad de gas o aire para que el proceso sea eficiente. Además, requiere de grandes difusores para tener influencia sobre toda el agua por tratar (J. E. Forero, s.f.).

20 **Sedimentación:** La sedimentación sirve para reducir la turbiedad y eliminar sustancias en suspensión que pueden encontrarse en las corrientes de agua, en un tiempo razonable, por la sola acción de la gravedad. Generalmente esta técnica se lleva a cabo en grandes superficies como separadores API.

25 **Oxidación:** La oxidación química permite efectuar un control del desarrollo biológico en las instalaciones, remover olor, color y sabor, reducir la concentración de contaminantes orgánicos.

30 **Remoción de sólidos:** En campos donde la producción continua de arena y otros solidos se presenta en cantidades apreciables, dichas partículas deben removerse antes de disponer el agua finalmente en otros sistemas de tratamiento o inclusive en tuberías para transporte ya que podrían producir problemas asociados con corrosión o erosión. La remoción se realiza por medio de la intensificación de dos operaciones unitarias: 1. Sedimentación y 2. Barrido

35 **Sedimentación de solidos:** es una operación unitaria de consiste en separar solidos de una fase liquida, usualmente acuosa, que y por acción de las fuerzas gravitacionales y flotación se obtienen dos productos: 1. líquido clarificado con menor concentración de sólidos y 2. lodo con alta concentración de sólidos. (Cardona, Prieto, Diaz, Guarín, 2024)

40 **Barrido o arrastre:** El uso de boquillas de aspersión al fondo de los equipos de separación donde generalmente se depositan las partículas pesadas es utilizada en la industria para la remoción de sólidos, en ingles *Barrido por aspersión*.

5 El objetivo de esta tecnología es movilizar las partículas sólidas hacia un punto de drenaje y posterior salida del equipo. En su mayoría, su uso se centra en equipos horizontales, sin embargo, no existe ninguna restricción en equipos verticales. El comportamiento de estas boquillas está determinado por el tamaño, concentración y densidad de las partículas suspendidas del fluido a tratar (Amir Hossein Azimi, s.f.).

10

El documento a continuación divulga en general una tecnología de un sistema de flotación por gas disuelto (gas de producción, aire o nitrógeno) para el tratamiento de agua combinado con un sistema de remoción de sólidos utilizando boquillas de aspersión (*Barrido por aspersión*) mediante un arreglo de tuberías al interior de un tanque.

15

A continuación, se describe brevemente cada una de las operaciones unitarias implicadas y, posteriormente se explica como todas las operaciones unitarias se acoplan en el elemento de invención con el objeto de incrementar los rangos de aplicación y mejorar la eficiencia de cada una de dichas operaciones unitarias.

20

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1. Vista isométrica internos sistema de la presente invención. Se observa: sistema de distribución de agua (1), sistema de recirculación de agua con aire/gas (2), distribuidor de aire/gas (3), sistema colector de aceite (4), sistema de drenaje con tecnología Barrido por aspersión (5).

25

Figura 2. Vista isométrica del sistema de distribución de agua de la presente invención. Se observa: tubo de alimentación de la corriente de agua (6), tubería de agua central (7), brazos de distribución con orificios (8).

30

Figura 3. Dimensiones generales en la vista frontal del sistema de distribución de agua, se observa: Ancho total del sistema (10), altura total del sistema (11), diámetro de tubería de entrada de distribución (12), diámetro de tubería central de distribución (13) y diámetro de tubería de los brazos de distribución (14).

35

Figura 4. Vista isométrica del sistema de distribución de agua de recirculación, se observa: brazos de distribución (15), boquillas generadoras de microburbujas (16), tubería de entrada de agua de recirculación (17).

5 Figura 5. Vista superior del distribuidor de aire o gas, se observa: diámetro de la tubería de los brazos (18), diámetro de la tubería de entrada de agua de recirculación (19), longitud de cada brazo (20) + (21), ángulo entre los brazos (22) y distancia entre boquillas (23).

10 Figura 6. Dimensiones generales en la vista lateral del sistema de recirculación de agua con aire/gas/nitrógeno para el sistema de la presente invención. Se observa: Ancho total del sistema (24), ancho total brazos (25), altura total del sistema (26) y diámetro de tubo central (27).

15 Figura 7. Vista isométrica del sistema de distribución de aire/gas/nitrógeno. Se observa: Dos distribuidores de gas (28), dos tubos que ascienden hasta la cámara superior del tanque (29).

20 Figura 8. Vista isométrica del sistema colector de aceite sistema de la presente invención. Se observa: cuatro brazos (30), en los cuales se encuentra un colector cuadrangular en cada uno con bordes dentados (31) fijado a la parte superior de cada brazo para recoger los sólidos e hidrocarburos flotados durante el proceso. Los brazos (30) se conectan a una tubería de drenaje (32) en la parte inferior el sistema.

25 Figura 9. Dimensiones generales en la vista superior del sistema colector de aceite sistema de la presente invención. Se observa: Longitud tubo de recolección (33), longitud lado de la canasta de recolección (34), diámetro del tubo de recolección (35), diámetro de la tubería de los brazos (36), distancia entre canastas (37), ángulo entre eje de tubo de recolección y eje de la canasta (38).

30 Figura 10. Vista frontal del sistema colector de aceite sistema de la presente invención. Se observa: diámetro de la tubería de los brazos (36), distancia entre canastas (37), altura total del sistema (39) y altura de cada canasta (40).

35 Figura 11. Vista isométrica del sistema de Barrido por aspersión del sistema de la presente invención. Se observa: dos tuberías de entrada de agua (41) conectadas a un anillo externo de tubería (42) y uno interno (43) ubicados de forma concéntrica con boquillas rociadoras Everloy® (44).

35 Figura 12. Vista superior del sistema de Barrido por aspersión (anillo exterior) del sistema de la presente invención. se observa: 35 boquillas eyectoras (44), cuatro brazos de distribución de agua (45), radio del anillo exterior (46), diámetro tubería del anillo (47), diámetro tubería de brazos (48), diámetro tubería de entrada de agua (49), ángulo entre brazos (50) y ancho total del sistema (51).

5 Figura 13. Vista frontal del sistema de Barrido por aspersión (anillo exterior) del sistema de la presente invención. Se observa: boquillas eyectoras (44), diámetro tubería del anillo (47), diámetro tubería de brazos (48), diámetro tubería de entrada de agua (49) y altura total del sistema (52).

10 Figura 14. Vista superior del sistema de Barrido por aspersión (anillo interior) del sistema de la presente invención. Se observa: 19 boquillas eyectoras (44), cuatro brazos de distribución de agua (53), radio del anillo exterior (54), diámetro tubería del anillo (55), diámetro tubería de brazos (56), diámetro tubería de entrada de agua (57), ángulo entre brazos (58) y ancho total del sistema (59).

15 Figura 15. Vista frontal del sistema de Barrido por aspersión (anillo interior) del sistema de la presente invención. Se observa: boquillas eyectoras (44), diámetro tubería del anillo (55), diámetro tubería de entrada de agua (57) y altura total del sistema (60).

Gráfica 1. Diagrama general de tratamiento de agua con sistema de la presente invención.

Gráfica 2. Representación del ángulo de separación entre orificios de un nodo

Gráfica 3. Caudal de agua vs. Orificios de cada brazo

20 Gráfica 4. Gráfica de velocidad de agua vs. Orificios de cada brazo

Gráfica 5. Distribución de Tamaño de Burbuja

Gráfica 6. Boquilla típica para producir microburbujas

Gráfica 7. Caudal de cada boquilla para el sistema de la presente invención.

Gráfica 8. Velocidad de cada boquilla para el sistema de la presente invención.

25 Gráfica 9. Eficiencia típica de la presente invención. (Micrografías y tamaño de gota de aceite)

Gráfica 10. Comportamiento del ángulo de rociado en boquillas con y sin núcleo.

Gráfica 11. Distribución de flujo dentro de las boquillas

Gráfica 12. Esquema de medidas del sistema de la presente invención

Gráfica 13. Esquema de control del sistema de la presente invención.

30 Gráfica 14. Diagrama de instrumentación P&ID del sistema de la presente invención.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INVENCION

35 El sistema corresponde a un equipo utilizado en procesos de tratamiento de agua de producción, enfocado en el retiro de solidos suspendidos y grasas. Tiene por objeto el tratamiento integral de las corrientes sobrenadantes de sistemas de separadores de placas corrugadas, (mayormente conocidos como CPI) o cualquier operación unitaria de segregación de agua en los cuales se retire el crudo de forma masiva y los sólidos sedimentables. En la Gráfica 1 se muestra el diagrama general de ubicación del equipo en una facilidad de superficie de recolección de fluidos en un campo de producción.

40

5

El sistema está diseñado para tratar entre 10.000 y 100.000 barriles diarios de agua, el presente documento contiene la información detallada para el sistema de al menos 20.000 barriles diarios de agua o más.

10 Sistema de flotación

El sistema de flotación es uno de los más utilizados en la industria del petróleo para el tratamiento de agua de producción debido a su alta eficiencia al separar aceites emulsionados y sólidos en suspensión.

15

El sistema de flotación está compuesto por un distribuidor longitudinal en forma de brazo de entrada de agua de 8" de diámetro (6), este llega desde el exterior hasta el tubo de agua central (7), de él se desprenden cuatro brazos internos de 6" de diámetro cada uno (8), distribuidos radialmente cada 90 grados, estos últimos están perforados con 24 orificios (9).

20

Un segundo distribuidor longitudinal en forma de brazo de entrada de agua de recirculación (17), este llega desde el exterior hasta el centro de tanque, del cual se derivan cuatro brazos de 2" de diámetro (15) con cuatro boquillas reductoras tipo cada uno (16).

25

Un tercer distribuidor de gas (28) que corresponde a dos recipientes conectados cada uno por una línea de 2" (29) que toma el gas de la parte superior del sistema de la presente invención y lo distribuye en cada una de las boquillas por medio de mangueras plásticas.

30

Finalmente, un recolector de sobrenadantes. Este colector tiene doble propósito, definir el nivel operativo del sistema de la presente invención, y recolectar los sobrenadantes que son llevados a reproceso. Se compone de cuatro brazos de 3" de diámetro (30) distribuidos a lo largo de la tubería de recolección (32). Al extremo de cada brazo se encuentra ubicado un colector cuadrangular (31) con bordes dentados encargado de recoger los sólidos e hidrocarburos flotados durante el proceso.

35 Sistema de remoción de sólidos

Esta técnica se desarrolla por medio de la intensificación de dos operaciones unitarias, la primera, la sedimentación de sólidos y la segunda, el barrido por medio de barrido por aspersión.

40

La primera consiste en un proceso gravitacional en que se designa una zona en el tanque en donde el agua fluye de manera laminar y promoviendo la separación por diferencia de densidades.

5

La segunda consiste en la remoción de sólidos sedimentados y depositados al fondo de los equipos de tratamiento de fluidos es el uso de boquillas rociadoras de alta velocidad, también conocidas como *Barrido por aspersión* a través de las cuales se inyecta agua a presión con el fin de redirigir las partículas sólidas hacia un punto de drenaje sin generar erosión al interior del equipo. La eficiencia de esta técnica depende del patrón de rociado y el ángulo de posición de las boquillas utilizadas.

10

15

El sistema de remoción de sólidos está compuesto por dos distribuidores longitudinales en forma de brazos de entrada de agua de 3" de diámetro (41), este llega desde el exterior hasta el centro de tanque, de él se derivan cuatro brazos internos de 2" de diámetro, distribuidos radialmente cada 90 grados (45), que a su vez se conectan con una tubería circular que rodea el borde del tanque (42) y donde se encuentran ubicadas boquillas de aspersión o *Barrido por aspersión* (44), las cuales redirigen los sólidos al drenaje que se encuentra en el centro del fondo del tanque.

20

Inmediatamente abajo del distribuidor descrito anteriormente, se encuentra un segundo distribuidor longitudinal en forma de brazo de entrada de agua de 3" de diámetro (41), este llega desde el exterior hasta el centro de tanque, de él se derivan cuatro brazos internos de 2" de diámetro, distribuidos radialmente cada 90 grados, que a su vez se conectan con una tubería circular (43) que rodea el interior del tanque y donde se encuentran ubicadas boquillas de aspersión o *Barrido por aspersión* (44), las cuales redirigen los sólidos al mismo drenaje que se encuentra en el centro del fondo del tanque.

25

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

30

El sistema de la presente invención tiene por objetivo la separación de grasas, aceites y sólidos suspendidos en procesos intermedios de tratamiento integral de agua de producción. Combina la tecnología de flotación y de arrastre de sólidos depositados (*Barrido por aspersión*) en un mismo equipo, en la Figura 1 se muestra el conjunto de todos los sistemas internos del equipo.

35

El sistema de la presente invención combina los siguientes sistemas en un mismo equipo:

- a. Sistema de distribución de agua (1), que se compone de al menos 4 brazos por medio de los cuales ingresa el agua a tratar en el dispositivo.
- b. Sistema de recirculación de agua con aire/gas (2) compuesto por al menos 4 brazos sobre los cuales se disponen boquillas para generación de microburbujas y dar el efecto de flotación en el dispositivo.

40

- 5 c. Distribuidor de aire/gas (3) compuesto por 2 tuberías que permiten el acceso de aire gas o nitrógeno hasta las boquillas del sistema de recirculación (2).
- d. Sistema colector de aceite (4) compuesto por al menos 4 brazos (30), en los cuales se encuentra un colector cuadrangular en cada uno con bordes dentados (31) fijado a la parte superior de cada brazo para recoger los sólidos e hidrocarburos flotados durante el proceso, donde los brazos (30) se conectan a una tubería de drenaje (32) en la parte inferior el sistema.
- 10 e. Sistema de drenaje con tecnología Barrido por aspersión (5) compuesto por 2 anillos de tubería ubicados de forma concéntrica en la parte inferior del dispositivo redirigiendo las partículas sólidas hasta el centro del equipo.
- 15 f. Un equipo a nivel de instrumentación y control para optimizar su funcionamiento realizando correcciones durante el periodo de evacuación del taque con la implementación de un control de nivel y otros elementos de medición.

20 A continuación, se presentan las condiciones del diseño conceptual del sistema utilizado en procesos de tratamiento con una capacidad de al menos 20.000 barriles diarios de agua o más, teniendo en cuenta las condiciones de operación y criterios de tamaño de burbuja establecidos para flotación con inyectores.

25 1. CONDICIONES DE OPERACIÓN

El sistema de la presente invención corresponde a un tanque que trabaja a presión atmosférica, diseñado para retirar el aceite y los sólidos en suspensión por medio de microburbujas de gas inducido con boquillas, las condiciones de operación para el equipo se describen en la Tabla 1, se estima con una eficiencia del 90% para retiro de grasas - aceites y un 70% de la cantidad de sólidos suspendidos, permitiendo que los efluentes del sistema puedan continuar su curso normal dentro del proceso de disposición final de las corrientes tratadas.

30

Tabla 1. Condiciones de operación del sistema de la presente invención

Criterio	Unidad	TK 20
Agua a tratamiento	BPD	20.000
Grasas y Aceites (Max)	ppm	2500
Total de sólidos suspendidos (Max)	mg/lit	500
Presión mínima entrada al tanque	Psig	0,5
Presión máxima entrada al tanque	Psig	2
Temperatura de agua de producción	°F	100 - 170
Temperatura ambiente	°F	90

5

Adicionalmente es necesario garantizar las siguientes condiciones para que se dé el adecuado funcionamiento del tanque:

10

- Garantizar un flujo continuo, para asegurar el contacto entre el agua a tratar y las microburbujas producidas por las boquillas inyectoras.
- Producción continua de microburbujas.
- Asegurar las concentraciones de la carga en cuanto a sólidos sedimentables.
- Desnate continuo de los aceites flotados, (aseguramiento del control de nivel).

15

En la Tabla 2 se muestra la composición típica de la corriente de entrada al sistema a ser tratada.

Tabla 2. Composición típica de la carga de sobrenadante al sistema de la presente invención

Elemento	Composición
Hidrocarburo	120 - 500 ppm
Agua	99.99%
Sólidos	45-60 mg/lt

20

Propiedades del agua de entrada al sistema

En la Tabla 3 se muestra la caracterización de las corrientes de agua de producción a tratar.

Tabla 3. Propiedades del agua de entrada al sistema de la presente invención

Parámetro (Unidades)	TK 20
Temperatura (°F)	Normal 120 (Rango entre 86 – 170)
Presión de operación del tanque (psig)	0.1-1.5
Flujo (BPD)	20.000
Densidad Agua (lb/ft3)	59.3
Concentración Aceite (ppm)	< 1500
Flujo Másico Aceite (lb/h)	2052
Densidad Aceite (lb/ft3)	57.6
Concentración Sólidos (ppm)	500
Flujo Másico Sólidos(lb/h)	512
Densidad Sólidos (lb/ft3)	109.25

25

5

Para el sistema de la presente invención es importante tener caracterizada la corriente de agua a tratar. Las propiedades del agua para tener en cuenta en el diseño del equipo son:

10

- Concentración y estabilidad de iones
- Densidad
- Viscosidad
- Tensión interfacial
- Otros productos que puedan afectar el potencial Z

15

Propiedades del crudo de entrada al sistema

20

Para el sistema de la presente invención es importante tener caracterizado el crudo y/o grasas presentes en la corriente a tratar, ya que el sistema está especialmente diseñado para tratamiento de agua de producción.

Las propiedades del crudo para tener en cuenta en el diseño del equipo son:

25

- API
- Viscosidad
- Composición del crudo

Propiedades del gas asociado

30

Aunque el sistema de la presente invención es característico para tratar agua, es importante tener caracterizado el gas natural, de manto o nitrógeno que se utilizara en el equipo para impedir la oxigenación de agua cuando así se requiere en el proceso de tratamiento (Ej. Procesos de inyección o reinyección de agua, procesos de precipitación de sólidos disueltos como producción de óxidos ferrosos).

35

Estas son algunas de sus propiedades para tener en cuenta.

- Masa molar
- Factor de compresibilidad
- Relación de calor específico
- Gravedad específica

- 5 • Densidad @ P, T
- Caracterización del gas

10 2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Con la información anterior y las condiciones de operación del sistema de la presente invención, se diseñaron los diferentes equipos teniendo en cuenta el caudal de tratamiento, en este documento el correspondiente al menos de 20,000 barriles de agua por día o más.

15

Es importante recalcar que el sistema de la presente invención presenta las siguientes consideraciones de diseño.

20

- Una altura fija correspondiente a la altura requerida para la instalación de los internos del tanque (Boquillas de succión, líneas de recirculación, distribuidor de agua de entrada y red de distribución de gas y/o aire).
- Altura efectiva que corresponde a la altura requerida para el proceso de flotación.
- Altura total corresponde a la suma de las dos alturas anteriores y que hacen referencia al nivel alto-alto del tanque (HHL) más los requerimientos de altura para cumplir condiciones

25

- de seguridad, control y normas técnicas de construcción.
- El diseño del tanque que contiene el sistema de la presente invención cumple las normas Técnicas API 650-2019 para tanques de la industria petrolera de baja presión.

30

3. SISTEMAS DEL EQUIPO

a. Sistema de distribución de agua

35

La Figura 2 representa el sistema de distribución de agua del equipo, el cálculo de los diámetros y longitudes del sistema se realizó aplicando la teoría de relación de las áreas, determinando la cantidad de orificios (9) para cada brazo (8).

Diseño del sistema de distribución interno

40

La generación del diseño conceptual de los internos de cada uno de los tanques se basó en el principio de diseño de cabezales de tubería, que consiste en la relación de áreas por las cuales el fluido se desplaza por las líneas internas de tanque. La norma recomienda que el área de las líneas

5 de entrada del fluido al tanque debe ser menor o igual a la sumatoria de las áreas de los tubos distribuidores (8).

10 Como criterio de diseño se estableció una velocidad lineal máxima por los orificios de distribución (9) de flujo de 3 ft/s para minimizar el efecto de turbulencia dentro del tanque. Por otro lado, para cada ramal la suma de las áreas de los orificios (9) debe ser igual o ligeramente superior al área del tubo del brazo (8).

15 Mediante el uso de técnicas de mecánica computacional de fluidos se obtiene el flujo de descarga por cada uno de los orificios (9) seleccionados de tal manera que se asemeje a flujo pistón. El diámetro de los orificios (9) se determina a través de prueba y error utilizando un modelo numérico especializado en hidráulica.

Diseño del brazo distribuidor de agua a tratar

20 La longitud del brazo se determina teniendo como base el radio del tanque, como se muestra en la Tabla 4. A este brazo (8) se le calcula el número de orificios (9) requeridos para cumplir con los criterios de diseño establecidos anteriormente. Cada uno de estos orificios corresponde a uno de los nodos en el modelo a utilizar.

25 En las siguientes líneas se presentan las características generales:

- Diámetro tubería cabezal de al menos 6 (in)
- Diámetro tubería de brazos de al menos 6 (in)
- 30 • Longitud máxima del brazo de al menos 4,35 (ft)
- Número de brazos de al menos: 4
- Área transversal del brazo de al menos 28,274 ([in] ^2)
- Área de distribución de cada brazo de al menos 7,069 ([in] ^2)
- Diámetro de cada orificio de al menos 0,500(in)
- 35 • Área de los orificios en cada brazo de al menos 0,196 ([in] ^2)
- Máximo número de nodos, al menos 36
- Número de orificios por nodo, a menos 3
- Ángulo de separación entre orificios (°) 120

40 A continuación, en la Tabla 4 se resumen los resultados para el sistema de distribución de agua.

5

10

Tabla 4. Resumen de cálculos para nodos de distribución de agua del sistema de la presente invención

Elemento	TK 20
Diámetro tubería cabezal (in)	6
Diámetro tubería de brazos (in)	6
Longitud máxima del brazo (ft)	4,35
Número de brazos	4
Área transversal del brazo (in^2)	28,274
Área de distribución de cada brazo (in^2)	7,069
Diámetro de cada orificio (in)	0,500
Área de los orificios en cada brazo (in^2)	0,196
Máximo número de nodos	36
Numero de nodos luego de simulación	20
Número de orificios luego de simulación	60
Número de orificios por nodo	3
Ángulo de separación entre orificios ($^{\circ}$)	120

Los cálculos arrojan inicialmente el número de nodos máximo, y mediante un análisis hidráulico se determina el número de orificios y su distribución radial como se muestra en la Gráfica 2 en cada nodo.

15

En la

Tabla 5 se muestra el dimensionamiento y ubicación de los orificios (9) sobre cada brazo de distribución de agua a tratar (8) dentro del sistema de acuerdo con los cálculos mostrados anteriormente y teniendo en cuenta la longitud de cada caso.

20

Tabla 5. Espaciamiento entre nodos para el sistema de la presente invención

Nodo	TK 20	
	Distancia al siguiente nodo (ft)	Longitud total acumulada (ft)
1	0,3	0,3
2	0,3	0,6

Nodo	TK 20	
	Distancia al siguiente nodo (ft)	Longitud total acumulada (ft)
3	0,3	0,9
4	0,3	1,2
5	0,3	1,5
6	0,2	1,7
7	0,2	1,9
8	0,2	2,1
9	0,2	2,3
10	0,2	2,5
11	0,2	2,7
12	0,2	2,9
13	0,2	3,1
14	0,2	3,3
15	0,2	3,5
16	0,17	3,67
17	0,17	3,84
18	0,17	4,01
19	0,17	4,18
20	0,17	4,35

5

Una vez definida la cantidad de orificios requeridos, se procede con los cálculos hidráulicos que determinarán la presión de entrada y salida requerida para el sistema, en todo momento se debe cumplir con la limitación de velocidad máxima de 3 ft/seg.

10 En la Tabla 6 los resultados del caudal y la velocidad de cada orificio obtenidos a partir del modelo numérico.

Tabla 6. Datos de caudal y velocidad del agua obtenidos de la simulación hidráulica de uno de los brazos de entrada de agua del tanque en el sistema de la presente invención

Orificio	TK 20	
	Caudal (BWD)	Velocidad (ft/seg)
O1	114.2	1.27
O2	114.2	1.27

Orificio	TK 20	
	Caudal (BWD)	Velocidad (ft/seg)
O3	114.2	1.27
O4	101.8	1.13
O5	101.8	1.13
O6	101.8	1.13
O7	90.12	1.00
O8	90.12	1.00
O9	90.12	1.00
O10	86.65	0.96
O11	86.65	0.96
O12	86.65	0.96
O13	83.51	0.93
O14	83.51	0.93
O15	83.51	0.93
O16	82.02	0.91
O17	82.02	0.91
O18	82.02	0.91
O19	81.00	0.90
O20	81.00	0.90
O21	81.00	0.90
O22	80.31	0.89
O23	80.31	0.89
O24	80.31	0.89
O25	79.84	0.89
O26	79.84	0.89
O27	79.84	0.89
O28	79.49	0.89
O29	79.49	0.89
O30	79.49	0.89
O31	78.40	0.87
O32	78.40	0.87
O33	78.40	0.87
O34	76.21	0.85
O35	76.21	0.85

Orificio	TK 20	
	Caudal (BWD)	Velocidad (ft/seg)
O36	76.21	0.85
O37	79.76	0.89
O38	79.76	0.89
O39	79.76	0.89
O40	79.64	0.89
O41	79.64	0.89
O42	79.64	0.89
O43	79.58	0.89
O44	79.58	0.89
O45	79.58	0.89
O46	79.49	0.89
O47	79.49	0.89
O48	79.49	0.89
O49	79.33	0.88
O50	79.33	0.88
O51	79.33	0.88
O52	79.08	0.88
O53	79.08	0.88
O54	79.08	0.88
O55	78.73	0.88
O56	78.73	0.88
O57	78.73	0.88
O58	77.64	0.86
O59	77.64	0.86
O60	77.64	0.86

5

Analizando la Gráfica se observa que las velocidades obtenidas en cada uno de los orificios no superan los 3 ft/seg lo cual se encuentra en el límite permitido por condiciones de diseño.

10 Este análisis realizado para uno de los brazos (8) puede replicarse para los 3 brazos restantes, los cuales están ubicados de forma simétrica, por consiguiente, los datos obtenidos son iguales para

5 todos. En la Gráfica 3 se muestra el análisis entre el caudal y el número de orificios para el sistema de la presente invención.

En la Gráfica 4 se muestra el análisis entre la velocidad y el número de orificios para las tres versiones del equipo de la presente invención.

10

Finalmente se efectúa el cálculo hidráulico para el tubo de alimentación de la corriente de agua (6). En la Tabla 7 se muestran las presiones calculadas por el software tanto de entrada como de salida en el sistema.

15

Tabla 7. Presión de entrada y salida del agua al sistema de la presente invención

Dato	TK 20
Presión a la entrada del tanque (psig)	1,43
Presión a la salida de los orificios (psig)	0,5

Las características generales son:

- Ancho total del sistema (10) al menos 3139 mm
- Altura total del sistema (11) al menos 1095 mm
- Diámetro de tubería de entrada de distribución (12) al menos 219 mm
- Diámetro de tubería central de distribución (13) al menos 273 mm
- Diámetro de tubería de los brazos de distribución (14) al menos 168 mm

20

25 En la Figura 3 se muestra la vista superior del sistema de distribución de agua para el sistema de la presente invención. En la Tabla 8 se muestran las dimensiones del equipo.

Tabla 8. Dimensiones principales vista superior del sistema de distribución de agua del sistema de la presente invención.

Dimensiones (mm)	TK 20
Ancho total del sistema (10)	3139
Altura total del sistema (11)	1095
Diámetro de tubería de entrada de distribución (12)	219
Diámetro de tubería central de distribución (13)	273
Diámetro de tubería de los brazos de distribución (14)	168

30

5 **b. Sistema de recirculación de agua con aire/gas/nitrógeno**

La Figura 4 muestra la vista isométrica del sistema principal para que se dé la flotación dentro del tanque. Para la generación de burbujas se tienen al menos 4 brazos distribuidos simétricamente (15) los cuales están localizados en un nivel inferior al de los brazos de alimentación del agua al tanque (8). El objetivo de este distribuidor es a través del agua recirculada y mediante el uso de las boquillas (16) generar microburbujas que con el efecto de flotación ayudan a la separación de las partículas sólidas y el aceite de la corriente de agua que se desea tratar.

Las características generales:

15

- Diámetro de la tubería de los brazos (18) al menos 60.3 mm
- Diámetro de la tubería de entrada de agua de recirculación (19) al menos 114.3 mm
- Longitud de cada brazo (20) + (21) al menos 1280 mm
- Ángulo entre los brazos (22) al menos 90
- Distancia entre boquillas (23) al menos 250 mm

20

En la Figura 5 se muestra la vista superior del sistema de recirculación de agua con aire/gas/nitrógeno para el sistema de la presente invención y en la Tabla 9 se muestran las dimensiones generales del mismo.

25

Tabla 9. Dimensiones principales vista superior del sistema de recirculación de agua del sistema de la presente invención

Dimensiones (mm)	TK 20
Diámetro de la tubería de los brazos (18)	60.3
Diámetro de la tubería de entrada de agua de recirculación (19)	114.3
Longitud de cada brazo (20) + (21)	1280
Ángulo entre los brazos (22)	90
Distancia entre boquillas (23)	250

Las principales características:

30

- Ancho total del sistema (24) al menos 2821.3 mm
- Ancho total brazos (25) al menos 2712.7 mm
- Altura total del sistema (26) al menos 611 mm
- Diámetro de tubo central (27) al menos 168.3 mm

5

En la Figura 6 se muestra la vista lateral del sistema de recirculación de agua con aire/gas/nitrógeno para el sistema de la presente invención y en la Tabla 10 se muestran las dimensiones principales del mismo.

10

Tabla 10. Dimensiones principales vista frontal del sistema de recirculación de agua del sistema de la presente invención

Dimensiones (mm)	TK 20
Ancho total del sistema (24)	2821.3
Ancho total brazos (25)	2712.7
Altura total del sistema (26)	611
Diámetro de tubo central (27)	168.3

15

Para determinar los tipos de boquillas las cuales generan las burbujas se utiliza la tabla recomendada por el fabricante en la cual se tiene en cuenta la cantidad de aire y/o gas a utilizar en el proceso, el caudal de recirculación y el delta de presión.

Fluido para generación de burbujas

20

Dependiendo de la composición de la corriente de agua a tratar se utiliza determinado tipo de fluido para la generación de burbujas como se describe a continuación.

25

- **Aire del ambiente:** cuando la corriente presenta bajas concentraciones de hierro y no hay precipitados adicionales que permitan oxidación y/o corrosión.

30

- **Gas de manto:** cuando se desea evitar la presencia de oxígeno en el área con el fin de prevenir la presencia de bacterias. Cuando no se desea que los iones hidróxidos pasen a ser hidróxidos de hierro y se precipiten generando corrosión.

- **Nitrógeno:** ya que se trata de un gas inerte, se usa cuando hay presencia de H₂S y así evitar problemas de corrosión en el equipo.

Tamaño de partícula de burbujas de aire y/o gas

35

5 Se tomó como base de diseño una distribución de tamaños de partícula de las burbujas de aire y/o gas dispersa en el agua de tratamiento que cumplan con las siguientes condiciones:

- Distribución Normal de tamaño de burbujas
- Tamaño Promedio (P50): 100 - 155 μm
- 10 • Tamaño menor (P10): 8 μm
- Tamaño mayor (P90): 220 μm

15 Esto se verificó mediante el uso de un banco de prueba en que se revisó el tamaño de burbuja para muestras de agua de proceso presentes en la industria del petróleo. A continuación, la Gráfica 5 presenta muestra del tamaño y distribución. (Prieto, Cardona, 2022)

Distribuidor de aire y/o gas

20 La toma de aire o gas se hace a través de dos distribuidores (28) conectados cada uno a un tubo (29) que asciende hasta la cámara superior del tanque como se muestra en la Figura 7. Del distribuidor (28) se encuentran conectadas las mangueras que conducen el aire hasta las boquillas tipo (16).

Características de las boquillas

25 El sistema de la presente invención consta de una serie de boquillas inyectoras de gas o aire, las cuales están distribuidas en cuatro brazos (15), cuya finalidad es distribuir las microburbujas dentro del agua tratada.

30 Debido a que las boquillas operan por efecto Venturi, se debe garantizar un diferencial de presión suficiente que les permita generar el vacío adecuado para que se incorpore el gas a la corriente de agua y se produzcan las burbujas finamente dispersas generando el efecto de flotación.

35 Las boquillas inyectoras tienen como principio de funcionamiento el efecto Venturi el cual consiste en la disminución de la presión y el aumento de la velocidad que experimenta un fluido al pasar por una zona de menor sección dentro de un ducto cerrado. La diferencia de presión que se genera por el paso de fluido permite la succión de una segunda corriente en el punto de menor área transversal permitiendo la mezcla de las corrientes.

- 5 En el diseño de este sistema de tratamiento de agua, se utilizan boquillas Inyectoras tipo Venturi de presión diferencial con aletas internas de mezcla tipo, Gráfica 6, las cuales han demostrado alta eficiencia.

- 10 Para las condiciones de operación de los tanques se determina el uso de 16 boquillas tipo (16), 4 en cada brazo de distribución de agua de recirculación. En la Tabla 11, los requerimientos de aire o gas de inyección.

Tabla 11. Requerimiento de gas de inyección para el sistema de la presente invención

Dato	TK 20
Requerimiento de gas de inyección (<i>SCF/h</i>)	1,21844

- 15 Con esta información se ubica en la tabla de diseño entregada por el fabricante y se establece cual cumple los requerimientos del proceso. Según las condiciones de operación, el delta de presión y el caudal requerido por cada boquilla, se contrasta la información con la tabla entregada por el fabricante y se selecciona una boquilla de modelo específico para el sistema como se muestra en la
- 20 Tabla 12.

Tabla 12. Condiciones de operación de las boquillas seleccionadas para generación de burbujas en el sistema de la presente invención

Dato	TK 20
Modelo de boquilla Tipo	484X
Diámetro boquilla (in)	3/4
Presión de operación de entrada (psig)	10
Presión de operación de salida (psig)	5
Flujo (GPM)	1.6
Suction (SCFH)	1.2

- 25 En la Tabla 13 se muestra el caudal y velocidad generados por cada boquilla. En la Gráfica 7 el comportamiento del caudal en cada orificio y en la Gráfica 8 el comportamiento de la velocidad en cada orificio.

Tabla 13. Caudal y velocidad de cada boquilla del sistema de recirculación de agua

Boquillas	TK 20	
	Caudal	Velocidad (ft/s)
Orificio 1	388.03	6.76
Orificio 2	269.68	4.7
Orificio 3	200.88	3.5
Orificio 4	166.28	2.9

5

c. Sistema colector de aceite

10

Este sistema tiene doble propósito, ya que permite definir el nivel operativo del tanque y de paso recolectar los sobrenadantes que a su vez son llevados a reproceso. En la figura 8, se muestra que el sistemas está compuesto por al menos 4 brazos (30), en los cuales se encuentra un colector cuadrangular en cada uno con bordes dentados (31) fijado a la parte superior de cada brazo para recoger los sólidos e hidrocarburos flotados durante el proceso. Los brazos (30) se conectan a una tubería de drenaje (32) en la parte inferior el sistema.

15

Las características generales son:

20

- Longitud tubo de recolección (33) al menos 1809 mm
- Longitud lado de la canasta de recolección (34) al menos 412 mm
- Diámetro del tubo de recolección (35) al menos 114.3 mm
- Diámetro de la tubería de los brazos (36) al menos 88.9 mm
- Distancia entre canastas (37) al menos 1351 mm

25

- Ángulo entre eje de tubo de recolección y eje de la canasta (38) al menos 45 mm
- Altura total del sistema (39) al menos 1837 mm
- Altura de la canasta (40) al menos 225 mm

30

En la Figura 9 se muestran las medidas generales de la vista superior del sistema colector de aceite, en la Figura 10 se muestran las medidas generales de la vista frontal del sistema colector de aceite para el sistema de la presente invención. y en la Tabla 14 se relacionan las respectivas dimensiones.

Tabla 14. Dimensiones principales vista superior y frontal del sistema colector de aceite.

Dimensión (mm)	TK 20
----------------	-------

Longitud tubo de recolección (33)	1809
Longitud lado de la canasta de recolección (34)	412
Diámetro del tubo de recolección (35)	114.3
Diámetro de la tubería de los brazos (36)	88.9
Distancia entre canastas (37)	1351
Ángulo entre eje de tubo de recolección y eje de la canasta (38)	45
Altura total del sistema (39)	1837
Altura de la canasta (40)	225

5

La eficiencia del sistema de recolección de grasas y aceites es mayor al 95 % en recolección de grasas. A continuación, se presenta la distribución una muestra de agua de industrial a la entrada comparada con agua producto de la segregación (ver Gráfica 9).

10

d. Sistema de drenaje con tecnología Barrido por aspersión

15

Un barrido por aspersión está compuesto por múltiples cabezales equipados con boquillas de aspersión y transporte. Se utiliza agua a alta presión para fluidizar las partículas sólidas y transportarla hacia un depósito o drenaje para su respectiva disposición. La posición y el ángulo de los cabezales es fundamental para garantizar que todas las partículas sólidas se fluidicen sin generar erosión en el interior del tanque (AMACS, n.d.; Azimi, Zhu, & Rajaratnam, 2012).

20

Las boquillas rociadoras son dispositivos que facilitan la dispersión de un líquido en forma de espray, estas boquillas tienen tres propósitos principales: distribuir un líquido sobre un área específica, aumentar el área superficial del líquido y crear una fuerza de impacto sobre una superficie sólida (Jenkins, 2012). Las boquillas rociadoras se clasifican de acuerdo con el tipo de entrada utilizada para provocar la atomización o descomposición del líquido en finas gotas (Dorman, 1952; Ellis, Tuck, & Miller, 1999; Kluza, Kuna-Broniowska, & Parafiniuk, 2019).

25

En el mercado se encuentra disponible una amplia variedad de boquillas rociadoras para todo tipo de aplicaciones, sin embargo, a la hora de seleccionar una boquilla adecuada es necesario tener conocimiento de los fluidos a utilizar y del patrón de flujo esperado dentro del sistema.

30

Patrón de rociado

5 Las boquillas rociadoras puede ser utilizadas con un solo fluido, que generalmente es agua, con la combinación de 2 o más líquidos o con aire. En la Tabla 15 se muestra esquemáticamente los diferentes patrones de flujo que las boquillas rociadoras son capaces de generar; es posible utilizar diferentes tipos de boquillas para generar el mismo patrón o chorro. A continuación, una breve descripción de cada uno de ellos:

10

- **Patrón recto:** también llamadas boquillas de chorro sólido son las más simples siendo una única abertura circular en el extremo de un embudo. Estas boquillas son las que producen un mayor impacto debido que toda la potencia se concentra en un área pequeña. El tamaño de las gotas no es relevante, debido que el líquido no se fragmenta.

15

- **Boquillas de chorro plano:** se genera una pulverización lineal. Su fuerza de impacto es alta en comparación con las boquillas de cono lleno o hueco, pero no tanto como la boquilla de chorro sólido. El tamaño de las gotas producidas por estas boquillas también es mayor que las boquillas en forma de cono.

20

- **Patrón de cono lleno:** el patrón de cono lleno brinda una cobertura de fluido relativamente uniforme sobre un área determinada. Es importante aclarar que este patrón solo se mantendrá a cierta distancia del orificio de salida, después de esta distancia, se forma una neblina.

25

- **Patrón de cono hueco:** se caracteriza por la concentración de gotas alrededor del borde del cono, se deposita poco o nada en el centro del cono. La ventaja de estas boquillas es que producen un tamaño de gota menor, lo que otorga mayor área superficial, permitiendo una transferencia de calor más rápida.

30

- **Patrón de niebla:** se caracteriza por tener un flujo bajo de pequeñísimas gotas con mínimo impacto.

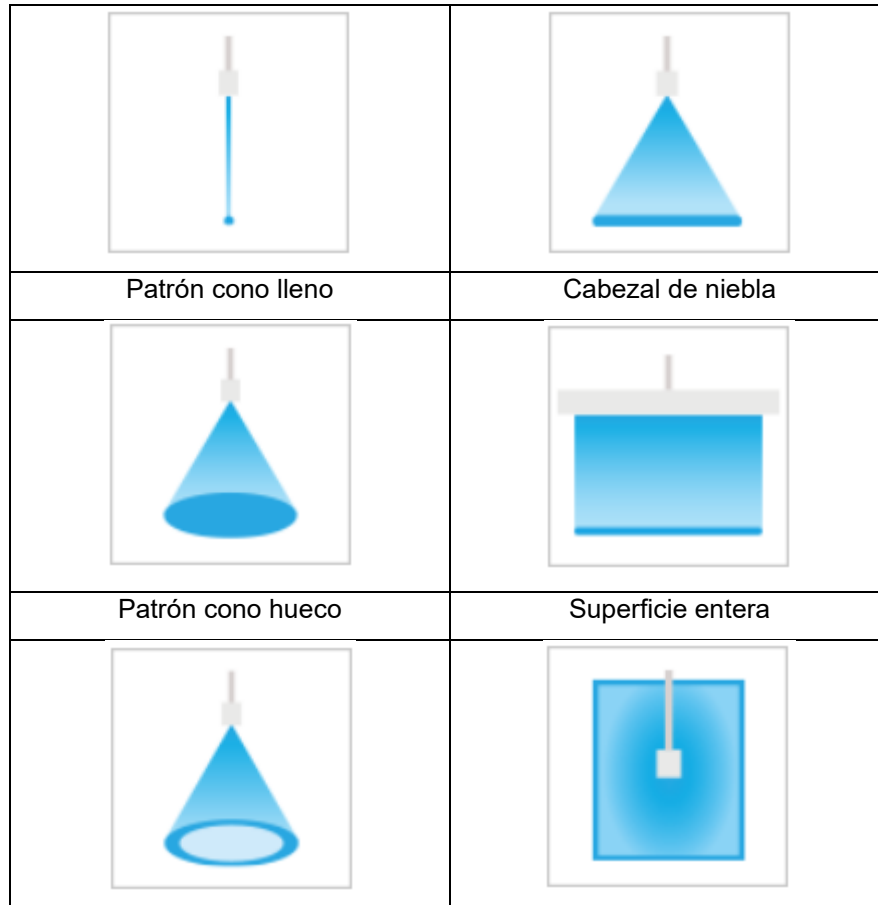
35

- **Superficie entera:** finalmente, existen boquillas capaces de generar atomización en una superficie de forma determinada.

40

Tabla 15. Patrones de flujo de las boquillas rociadoras

Patrón/chorro recto	Patrón/chorro plano
---------------------	---------------------



5

La descarga de las boquillas también puede clasificarse como neblina (fog), niebla (mist) o rocío (spray). Su forma depende del tamaño medio de las gotas de Sauter, de acuerdo con la Tabla 16.

Tabla 16. Tamaño medio de Sauter para gotas generadas en la descarga de las boquillas

Descarga	Tamaño (micrómetros)
Neblina seca	10 – 20
Neblina húmeda	20 – 30
Niebla	30 – 60
Rocío	> 60

10

Una boquilla hidráulica producirá gotas cada vez más finas a medida que la presión del líquido aumenta, por lo tanto, una boquilla que produce una niebla a una presión de 5 bar puede producir una neblina a 15 bar de presión. Esto significa que la misma boquilla puede producir niebla o neblina dependiendo de las condiciones de operación.

15

5 **Angulo de rociado**

En general, el ángulo de rociado aumenta con el aumento de la presión. Sin embargo, con algunas boquillas de núcleo como la boquilla de cono lleno, el ángulo de rociado aumenta hasta alcanzar cierto valor de presión y posteriormente comienza a disminuir, ver dicho comportamiento en la Gráfica 10.

Distribución de flujo

Para aumentar la uniformidad a lo ancho de la atomización para aplicaciones de una sola boquilla, es recomendable que la boquilla proporcione una distribución de flujo uniforme. La instalación de varias boquillas correctamente dimensionadas y espaciadas permite que la distribución de flujo sea uniforme en toda la región de rociado. La Gráfica 11 muestra los tipos de distribución de flujo, uniforme y de campana; así como el resultado de instalar varias boquillas correctamente espaciadas.

20 **Selección de la boquilla**

De acuerdo con la finalidad de la boquilla: barrido por aspersión para un tanque de almacenamiento se usa una boquilla con patrón de rociado plano. Estas boquillas son de acero inoxidable 303, tienen una estructura simple, resistente a la obstrucción con impurezas, genera gotas grandes y una distribución de flujo elevada a lo ancho en la parte central.

Configuración del sistema Barrido por aspersión

Una vez estudiado el comportamiento de las boquillas eyectoras mediante su simulación en un software de diseño asistido (CAD), se define un sistema compuesto por dos tuberías de entrada de agua (41) conectadas a un anillo externo de tubería (42) y uno interno (43) como se ve en la Figura 11, ubicados de forma concéntrica con boquillas rociadoras Everloy® (44) en la parte inferior del tanque, las cuales redirigen los sólidos precipitados hacia la tubería de drenaje ubicada en el centro del tanque.

Características generales:

- Radio del anillo exterior (46) al menos 1425 mm
- Diámetro tubería del anillo (47) al menos 60.3 mm
- Diámetro tubería de brazos (48) al menos 60.3 mm
- Diámetro tubería de entrada de agua (49) al menos 88.9 mm

- 5 • Ángulo entre brazos (50) 90
- Ancho total del sistema (51) al menos 2493 mm
- Altura total del sistema (52) al menos 854.4 mm

10 En la Figura 12 y Figura 13 se muestra la vista superior y frontal del anillo exterior del sistema de Barrido por aspersión que consta de al menos 35 boquillas eyectoras dispuestas cada 10.2° (44), al menos cuatro brazos de distribución de agua (45) y en la Tabla 17 las dimensiones principales del sistema.

15 **Tabla 17.** Dimensiones principales vista superior y frontal del sistema Barrido por aspersión (anillo exterior).

Dimensión (mm)	TK 20
Radio del anillo exterior (46)	1425
Diámetro tubería del anillo (47)	60.3
Diámetro tubería de brazos (48)	60.3
Diámetro tubería de entrada de agua (49)	88.9
Ángulo entre brazos (50)	90
Ancho total del sistema (51)	2493
Altura total del sistema (52)	854.4

20 En la Figura 14 y Figura 15 se muestra la vista superior y frontal del anillo interior del sistema de Barrido por aspersión que consta de 19 boquillas eyectoras dispuestas cada 17° (44), al menos cuatro brazos de distribución de agua (53) y en la Tabla 18 las dimensiones principales del sistema.

Características generales del anillo interior:

25 **Tabla 18.** Dimensiones principales vista superior y frontal del sistema Barrido por aspersión (anillo interior).

Dimensión (mm)	TK 20
Radio del anillo exterior (54)	819.9
Diámetro tubería del anillo (55)	60.3
Diámetro tubería de brazos (56)	60.3
Diámetro tubería de entrada de agua (57)	88.9
Ángulo entre brazos (58)	90

Ancho total del sistema (59)	2367
Altura total del sistema (60)	499

5

10 ESPECIALIDAD MECÁNICA DEL EQUIPO

Dimensionamiento del tanque

15 Los cálculos obtenidos muestran que se pueden tener diferentes configuraciones del tanque del sistema de la presente invención para capacidades nominales de al menos 10, 20 y 50 KBWPD o más, en función con diferentes relaciones de esbeltez (L/D) los cuales cumplen con las condiciones de diseño requeridas para el proceso. La Gráfica 12 muestra un esquema general del tanque con sus respectivas medidas externas generales.

20 En la Tabla 19 se muestran los cálculos de relación de esbeltez (L/D) realizados para seleccionar las dimensiones:

Tabla 19. Cálculo de la relación L/D

L/D	D(m)	L(m)	h efectiva (m)
0.8	3.4	2.7	1.07
0.9	3.2	2.9	1.27
1.0	3.1	3.1	1.46
0.9	3.3	3.0	1.35

25 Se estableció utilizar una relación de esbeltez de 1.0 con lo cual las dimensiones de diseño de proceso del tanque son:

20 KBPD: 3.1 metros de diámetro y 3.1 metros de altura

30 • Se mantuvo una altura efectiva de 1.46 metros y una altura fija de 1.5 metros, el volumen nominal del tanque es de 162 barriles.

La Tabla 20 resume las dimensiones del tanque del sistema de la presente invención de acuerdo con su capacidad.

5 **Tabla 20.** Resumen de dimensiones del tanque del sistema Gráfica 14 Diagrama de instrumentación P&ID del sistema de la presente invención.

DIMENSIONES DEL TANQUE	TK 20
EXTERNAS	
Diámetro del tanque (m)	3.3
Altura del tanque (m)	3
Altura fija (m)	1.5
Altura Efectiva (m)	1.35
Volumen del tanque (bbl)	150
Volumen de agua a recircular (bbl/día)	4000
Aire/Gas requerido (ft ³ /h)	19.490
Número de anillos	2
Alto de láminas del cuerpo (in)	72
INTERNAS	
No Brazos de dist. agua a tratar	4
Longitud del brazo (ft)	4.35
Diámetro del brazo (ft)	6
No de orificios por brazo	60
Longitud del tubo de alimentación (ft)	18
Diámetro del tubo de alimentación (in)	6
Presión de entrada (psig)	2.9
Presión de Salida (psig)	2
No Brazos de dist. Agua Recirculada	4
Longitud del brazo (ft)	4.4
Diámetro del brazo (in)	2
No de boquillas por brazo	4
Longitud del tubo de alimentación (ft)	18
Diámetro del tubo de alimentación (in)	3
Presión de entrada (psig)	16.2
Presión de Salida (psig)	13

10 Las dimensiones preliminares del tanque se seleccionaron teniendo en cuenta: El volumen requerido de almacenamiento, los diámetros y alturas en la relación altura/diámetro (L/D) especificado para el proceso de la presente invención y con base en la norma API Standard 650.

5 Dimensionamiento de bombas

Cálculo de potencia al freno de las bombas de recirculación

Para completar el diseño de proceso del sistema de la presente invención, se efectuó el cálculo de la potencia al freno o Brake Horse Power (BHP), el cuál es la medida de la potencia del motor sin la pérdida de potencia provocada por los acoples o caja reductora de un sistema motor bomba.

Esta información, junto con la cabeza estática y el caudal máximo son importantes en el diseño mecánico de los sistemas de bombeo. Para el cálculo de la potencia al freno se basó en el Perry's Chemical Engineers Handbook, arrojando los siguientes resultados:

$$BHP = Q * TDH * \rho / (247000 * effp)$$

Donde,

BHP , es la potencia al freno en hp

Q , es el caudal de flujo en Gal/min

TDH , es la cabeza dinámica total en ft

ρ , es la densidad del fluido en lb/ft^3

$effp$, es la eficiencia de la bomba

En la Tabla 21 se recopilan los cálculos de la potencia de freno.

Tabla 21. Cálculo de la potencia al freno

ITEMS	TK 20
T Work (0F)	120
Caudal (BPD)	4000
Caudal (GPM)	117
P max (Psig)	20
TDH Fts	46
SG	0.9843
Density Lbs/ft3	61.42
Mec pump effic	70%
Brake Horse Power	1.91
Eficiencia Motor	75%

Potencia Motor (HP)	2.23
Energía (km/hr)	2.99

5

A partir de los datos de potencia al freno calculada se concluye que las bombas a utilizar son de baja presión, ya que las presiones máximas de operación serían de 20 psig.

10

Con las pérdidas en la tubería y accesorios se obtiene la curva de pérdidas “hf instalación”, la cual corta las curvas de funcionamiento de algunos modelos de bombas que pueden ser instalados en el circuito, estableciendo el punto de operación para cada una.

15

La Tabla 22 recopila la información de modelos de bombas necesarias para los requerimientos del sistema de acuerdo con su capacidad de tratamiento.

Tabla 22 Modelos de bombas muy cercanos a los requerimientos del tanque de 20K.

Punto de operación de bombas				Potencia que consume (Hp)	Potencia de motor (Hp)
Bomba	Caudal (m³/h)	Caudal (GPM)	Hm (m)		
NF 129A	15,5	68,24682278	20	1,530864198	2
NF 129B	14,5	63,84380196	17	1,217283951	1,5
NF 128AR	12,8	56,35866655	13	0,821728395	1,5

20

Sistema 20K: La bomba NF129A resulta viable, entrega un poco menos del caudal establecido de 117 GPM para el proceso, consumiendo solo 1.68 Hp. De no poder utilizar este modelo se puede buscar una bomba en el mercado con los siguientes parámetros:

25

- Caudal máximo = 30 m³/h (132 GPM)
- Cabeza máxima (Hm) = 22.5 m (32 psi)
- Potencia = 2 Hp
- RPM = 2900

30

Los parámetros que se muestran anteriormente son de la bomba NF129A que fue seleccionada como elemento tentativo para la instalación en la línea de recirculación y sirven como parámetros en el momento de solicitar la compra de este elemento. Sin embargo, se debe enviar al fabricante los datos del caudal (117 GPM), caída de presión (20 psi) y el tipo de fluido de trabajo, para corroborar el modelo de bomba que tenga disponible y que mejor se adapte a los parámetros de operación del proceso.

5 Dimensionamiento bomba de agua tratada

Los parámetros del proceso de la bomba de agua tratada son los descritos en la Tabla 23.

10 **Tabla 23.** Parámetros del proceso de la bomba de agua tratada para el sistema de 20K.

ITEMS	TK 20
T Work (°F)	120
Caudal (BPD)	20000
Caudal (GPM)	583
TDH Fts	100
SG	0.9843
Density Lbs/ft3	61.42
Mec pump effic	70%
Eficiencia Motor	75%

Para el diseño de las bombas de salida de agua tratada usualmente deben estar en línea con la cabeza de los filtros (75 psi), así se obtiene la curva de pérdidas “hf instalación”, la cual corta la curva de funcionamiento del modelo de bomba que puede ser instalado en el circuito, estableciendo el punto de operación.

15

Tabla 24. Especificaciones modelo de bomba para el sistema de 20K.

Bomba	KW	CV	Q=CAUDAL																	
			L /Min	100	200	300	333	400	500	600	700	1000	1200	1700	1900	2100	2200	2300	2100	2500
			M³ / H	6	12	18	20	24	30	36	42	60	72	102	114	126	132	132	144	150
				H= Altura manométrica total en m																
65-250/30	30	40										76	74.5	68	64.5	60	57.5	55	52	

20

Tabla 25. Modelo de bomba muy cercano a los requerimientos del sistema para el sistema de 20K.

Punto de Operación de Bombas				Consumo (Hp) por bomba	Potencia motor (Hp) por bomba
Bomba # 1	Caudal (m³/h)	Caudal (GPM)	Hm (m)		
65-250/30	142	625,2289571	52,85048049	37,06058385	39,452

La bomba 65-250/30 resulta ser viable, pues comparado con el caudal para el proceso de 583 GPM, una sola bomba alcanza 625 GPM. Se debe contemplar la posibilidad de incluir un variador de frecuencia o algún otro elemento para regular el caudal al flujo que se requiere. De no poder utilizar este modelo se puede buscar una bomba en el mercado con los siguientes parámetros:

25

5

- Caudal máximo = 144 m³/h (634 GPM)
- Cabeza máxima (Hm) = 76 m (108 psi)
- Potencia = 39.5 Hp
- RPM = 2900

10

Los parámetros que se muestran anteriormente son de la bomba 65-250/30 que fue seleccionada como elemento tentativo para la instalación en la línea de agua tratada y sirven como parámetros en el momento de solicitar la compra de este elemento. Sin embargo, se debe enviar al fabricante los datos del caudal (583 GPM), caída de presión (75 psi) y el tipo de fluido de trabajo, para corroborar el modelo de bomba que tenga disponible y que mejor se adapte a los parámetros de operación del proceso.

15

Accesorios del tanque

20

Para el diseño de los tanques se deben tener en cuenta los elementos secundarios, que aunque no representan alto valor frente al costo de paredes, piso, techo, y estructura, son de gran importancia ya que estos accesorios ayudan a la funcionalidad y mantenimiento del tanque, estos elementos abarcan , boquillas útiles en el llenado y vaciado del mismo, cuellos de ganso o válvulas de presión y vacío para el control de la presión, Manholes en cuerpo y techo del tanque, para reparación de averías o inspecciones. Para el sistema de venteo se tiene en cuenta lo establecido en la norma API 2000 y API 2521.

25

Los principales accesorios que se colocan para una completa y correcta operación de un tanque son los siguientes:

30

- Manhole del cuerpo, para inspección y acceso del personal.
- Manhole del techo, para inspección y acceso del personal.
- Boquillas de entrada, accesorio por donde ingresa el fluido a almacenarse.
- Boquillas de salida, accesorio por donde sale el fluido de producción.
- Puertas de limpieza a nivel del piso (lápidas), accesorio por donde se realiza la extracción de sustancias residuales (residuo de petróleo sólido), y cualquier suciedad, escoria, o basura.
- Sumidero o Tina de lodos, accesorio por donde se vaciará, los residuos de agua y lodos que no pueden ser desalojados por la descarga se encuentra en el fondo del tanque.
- Plataformas, y escaleras, accesorios que permiten subir hasta el techo del tanque para realizar inspecciones.

35

40

5 ESPECIALIDAD INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

El sistema de la presente invención cuenta con un equipo a nivel de instrumentación y control que permite optimizar su funcionamiento realizando correcciones durante el periodo de evacuación del
 10 taque con la implementación de un control de nivel y otros elementos de medición que mantienen el
 buen funcionamiento y seguridad del tanque y de los operarios durante el proceso.

Esquema de control

El esquema de control para el sistema de la presente invención debe basarse en una arquitectura
 15 “abierta” con capacidad inherente de integrar e intercambiar información con otros dispositivos y
 plataformas utilizando protocolos y medios normalizados o estándar de comunicación.

Este debe permitir la adquisición de datos y funciones de control a ser realizadas en múltiples
 (distribuidos) lugares dentro de las plantas, mientras provee la capacidad de monitorear y controlar
 20 el proceso desde una sala de control centralizada.

Los componentes básicos para el esquema de control del sistema de la presente invención son:

Señal de entrada	Señal de salida o resultado
25 Actuador (bombas de flujo variable)	Controlador (PLC)

La Gráfica 13 muestra el esquema, el cual está conformado por un controlador PLC que envía una
 señal a la planta en este caso sería al motor de la bomba de salida controlando su velocidad por
 medio de un variador de frecuencia.

30 Los transmisores y elementos finales de control serán electrónicos inteligentes que funcionan con
 señales eléctricas de 4-20 mA la comunicación entre el campo y el cuarto de control depende
 directamente del tipo de comunicación empleado en el campo.

35 Los transmisores tendrán encerramiento típico a prueba de explosión o a prueba de agua y corrosión
 según la clasificación del área y el tipo de planta, deben ser protegidos de descargas eléctricas de
 tipo atmosférico.

El sistema debe tener la capacidad de procesar sistemas entradas análogas lineales y no lineales y
 40 proporcionar capacidades de condicionamiento de señal estándar.

5 ***Lista de Instrumentación:***

Para el lazo de control de nivel se requiere de los siguientes instrumentos:

- Sensor de nivel
- 10 • Transmisor indicador de nivel
- Dos Switch: uno por nivel alto-alto y uno por nivel bajo-bajo.
- Dos variadores de frecuencia, uno para cada bomba de salida.
- Dos indicadores locales de presión, manómetros
- Un transmisor indicador de presión

15

Para el lazo de control del agua de recirculación se requiere de los siguientes instrumentos:

- Dos indicadores locales de presión, manómetros.
- Un switch por bajo flujo
- 20 • Un transmisor indicador de presión

Para el lazo de control del gas de manto se requiere de los siguientes instrumentos:

- Sensor de presión
- 25 • Transmisor de presión
- Válvula de presión en vacío
- Válvula de presión de seguridad
- Válvula de reguladora de presión

- 30 Los transmisores serán electrónicos tipo inteligente, certificados para “Explosión Proof”, tropicalizados con señal de salida en 4-20 mA + HART alimentados a (24v Dc).

Lógica narrativa de proceso de control.

- 35 Es importante conocer los instrumentos requeridos y el funcionamiento de cada elemento durante su proceso por esta razón se elabora un documento con la lógica narrativa de proceso de control que se estructura en tres lazos de control, control de nivel, control del gas de manto y de control de recirculación.

40 ***Lógica narrativa de control de nivel.***

- 5 Este lazo controla el nivel del tanque de flotación manteniendo el líquido en un nivel de trabajo normal, cuenta con un transmisor indicador de nivel tipo radar de no contacto **LIT**, el cual envía una señal eléctrica de 4-20 mA a un controlador de nivel **LC** (PLC).

- 10 Una vez el controlador recibe esta información realiza una comparación de la señal transmitida con la señal de referencia previamente ajustada en el controlador, dependiendo de esta señal se puede generar tres situaciones diferentes: la primera, si el nivel del tanque se mantiene, (no presenta ninguna variación) la señal transmitida no va a cambiar, por lo tanto, el controlador mantiene la misma señal de salida de 4-20 mA conservando la velocidad del motor de la bomba de salida. La segunda situación sería cuando el nivel del tanque aumenta, la señal transmitida por el **LIT** sería diferente por
- 15 lo tanto la señal de salida del **LC** varía incrementando la velocidad en el motor de la bomba de salida, permitiendo un drenaje rápido hasta obtener el nivel adecuado.

- Por último, si el nivel del tanque disminuye, la señal transmitida por el **LIT** cambia, por lo tanto, el **LC** detecta esta desviación enviando una señal al variador de velocidad de la bomba de salida
- 20 permitiendo un drenaje lento hasta obtener el nivel de trabajo adecuado.

- El tanque debe tener dos Switch de nivel uno por alto-alto y otro por bajo-bajo, estos Switch se usan por seguridad del tanque de tal forma que cuando detecta un cambio de estado envían una señal binaria (0/1) al controlador **LC** ocasionando una reacción del **LC** al variador de velocidad.

- 25 En caso de nivel alto-alto el motor de la bomba de salida se pone en marcha al 100% teniendo un drenaje rápido o podría poner en marcha las dos bombas de salida simultáneamente hasta obtener el nivel de trabajo normal.

- 30 En caso de nivel bajo-bajo la reacción del **LC** sería disminuir la velocidad del motor de la bomba de salida hasta aumentar el nivel del tanque en condiciones normales.

Tabla 26. Instrumentación de control de nivel para el sistema de la presente invención.

ITEM	TK 20
Transmisor indicador de nivel tipo radar de no contacto (LIT)	LIT-20-01
Controlador de nivel (LC)	LC-20-01

- 35 **Lógica narrativa de control para el gas de manto.**

5 Este lazo de control dispone de un sensor de presión **PE** instalado en el techo del tanque, conectado inalámbricamente con un transmisor indicador de presión **PIT** ubicado en la parte baja del tanque con acceso a los operadores para hacer lectura en campo de la presión del tanque. El **PIT** envía una señal eléctrica de 4-20 mA un controlador indicador de presión **PIC** con la intención de visualizar este dato desde el controlador, y a su vez transmitir esta lectura al cuarto de control para ser leído por el operador.

15 Para mantener la presión adecuada en la cámara de gas del tanque se requiere de una válvula reguladora de presión **PCV** ajustada directamente en la válvula a un valor de presión de trabajo normal, de tal forma que cuando detecte algún cambio de presión bajo permite el paso de gas al tanque hasta alcanzar la presión de trabajo.

20 Como elementos de seguridad por presión alta se dispone de dos válvulas que permiten la evacuación del exceso de gas del tanque, por un lado se tiene una válvula de presión de seguridad **PSV** configurada directamente a una presión normalmente más alta a la de trabajo en condiciones normales del tanque, de tal forma que cuando la presión aumenta solo un 10% del valor de control ajustado, la válvula envía este exceso por medio de una línea de tubería a un lugar seguro para ser manipulado; por otro lado se tiene una válvula de presión en vacío **PVV**, igual a la anterior, se configura directamente para que trabaje a una presión más alta a la presión del tanque de tal forma que cuando aumente la presión del tanque, esta válvula se abre liberando el exceso de gas al aire libre hasta lograr la presión interna del tanque adecuada.

Tabla 27. Instrumentación de control para el gas de manto del sistema de la presente invención.

ITEM	TK 20
Sensor de presión (PE)	PE-20-01
Transmisor indicador de presión (PIT)	PIT-20-01
Controlador indicador de presión (PIC)	PIC-20-01
Válvula reguladora de presión (PCV)	PCV-20-01
Transmisor indicador de presión (PSV)	PSV-20-01
Válvula de presión de vacío (PVV)	PVV-20-01

30 ***Lógica narrativa de control para el agua de recirculación.***

Para el lazo de control del agua de recirculación se debe medir la presión a la salida de la bomba con el fin de evitar que ésta trabaje en vacío, para esto se dispone de un transmisor indicador de presión **PIT** que envía una señal de 4-20 mA al controlador multivariable **UC**, de tal forma que si la

- 5 presión disminuye por alguna razón el controlador apaga la bomba en marcha y enciende la segunda bomba de recirculación evitando detener el proceso de flotación; además cuenta con un switch de bajo flujo que envía una señal binaria (0/1) al controlador **UC** de tal forma que cuando se detecte un cambio de estado el controlador apague la bomba de salida para evitar que trabaje en vacío y ocasione daños en las bombas.
- 10 Así mismo cuenta con un indicador de presión **PI-02** para hacer lectura de la presión con la que sale el agua del tanque antes de pasar por la bomba de recirculación, igualmente se instala otro indicador de presión **PI-03** para hacer lectura de la presión con la que sale el agua de la bomba.
- 15 Nota: para el enlace de comunicación entre los instrumentos en campo y el cuarto de control depende del tipo de conexión usado en el área.

Tabla 28. Instrumentación de control para el agua de recirculación del sistema de la presente invención.

ITEM	TK 20
Transmisor indicador de presión (PIT)	PIT-20-02
Controlador multivariable (UC)	UC-20-01
Indicador de presión (PI)	PI-20-02
Indicador de presión (PI)	PI-20-03

Diagrama de instrumentos y control

En la Gráfica 14 se visualiza un diagrama ilustrativo del sistema de 20K con los instrumentos de medición.