

SISTEMA Y PROCESO DUAL PARA SECADO E INCINERACIÓN DE
BIOSÓLIDOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
(PTAR)

5

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se enmarca en el campo de ingeniería sanitaria y en los sistemas y procesos que son usados en plantas de tratamiento de aguas residuales (conocidas como PTAR), más particularmente sistemas que son
10 usados para llevar a cabo el secado y en la incineración de biosólidos húmedos en forma adecuada.

Así, la presente invención se relaciona con un sistema dual y flexible para el tratamiento térmico de biosólidos húmedos generados en las plantas de
15 tratamiento de aguas residuales, en donde dicho proceso permite la operación alternativa entre dos configuraciones operativas una de producción de biosólido seco mediante secado térmico con suministro de vapor desde caldera de gas o biogás, y otra condición operativa de producción de cenizas inertes mediante incineración del biosólido previamente secado por medio de vapor generado en
20 una caldera de biomasa resultando un proceso autosuficiente energéticamente. Así, la presente invención combina un secador de contacto indirecto que opera con vapor saturado a presión controlada, con dos sistemas de generación de calor alternativos (caldera de gas o caldera de biomasa) que permiten al operador seleccionar el producto final según requerimientos de mercado,
25 condiciones operativas y restricciones ambientales. El proceso resuelve entonces problemáticas específicas de gestión de biosólidos húmedos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales caracterizados por un alto contenido de humedad que dificulta manejo y transporte, oleres ofensivos, patógenos que representan restricciones ambientales para
30 disposición en suelos. Es importante resaltar que este proceso en cualquiera de sus dos modos operativos producirá un material aprovechable, ya que tanto el biosólido seco (producido si se opera como secador) es aprovechable como

combustible o fertilizante y la ceniza (producido si se opera como incinerador) es aprovechable como fertilizante o como agregado para fabricación de ladrillos, mortero o concreto.

5

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En la actualidad, es ampliamente conocido en el campo técnico asociado que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) tienen una generación continua de biosólidos húmedos que resulta un producto inevitable del
10 tratamiento biológico de aguas residuales, en donde estos biosólidos húmedos contienen alto porcentaje de agua, microorganismos, materia orgánica, materia inorgánica y contaminantes concentrados del proceso de tratamiento de las aguas.

15 Así mismo, existen plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en donde la producción de biosólidos húmedos pueden experimentar incrementos sustanciales debido al crecimiento urbano dentro de las ciudades o al mejoramiento del tratamiento en la planta, como es el caso de la PTAR Salitre en Bogotá en donde al mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales
20 hizo que se aumentara la producción de biosólidos húmedos que pasó de 130 toneladas por día en operación inicial a aproximadamente 250 toneladas por día, y se espera que se llegue a una producción promedio máxima de 320 toneladas por día cuando la ciudad crezca a su máxima planeación.

25 De este modo, estos biosólidos húmedos generados en el tratamiento de aguas residuales tienen características que representan desafíos operacionales críticos, dentro de los que se encuentra un contenido de humedad elevado que incrementa significativamente el volumen total y, consecuentemente, los costos de transporte, manejo y disposición final. Así mismo, se tiene un peso específico
30 reducido comparado con material seco, que ocupa espacio desproporcionado en vehículos de transporte. Y, finalmente, presentan inestabilidad en clima tropical,

ya que los mismos son susceptibles a procesos de putrefacción y generación de malos olores.

Ahora bien, históricamente las PTARs han abordado la disposición final de biosólidos húmedos mediante dos enfoques convencionales. Uno enfocado en la enmienda ambiental de suelos sobre explotados o con necesidad de material con capa vegetal, el cual, aunque representa una opción de bajo costo inicial, esta alternativa enfrenta restricciones en jurisdicciones regulatorias que requieren límites máximos de contaminantes en suelos, contenido de patógenos reducido. Otro enfocado en confinamiento en rellenos sanitarios, donde esta modalidad implica transporte de material con elevado contenido de humedad a distancias significativas, generando costos de transporte prohibitivos y conflictividad ambiental con comunidades receptoras por generación de lixiviados y gases.

De acuerdo con esto, en el estado de la técnica se conocen varios tipos de procesos y sistemas para el tratamiento de biosólidos húmedos en PTAR, dentro de los que se encuentran los siguientes, los cuales son incluidos en la presente divulgación a modo de referencia únicamente.

Como primera medida, se encuentra el documento US 11629301 que se refiere a un sistema de tratamiento térmico de biosólidos húmedos realizando un secado y posteriormente una gasificación del biosólido seco. El sistema puede generar cenizas de bajo contenido de carbono y biosólido tipo A (US EPA), o biocarbonizado únicamente, de acuerdo con las condiciones de operación del sistema. El sistema está compuesto de una etapa de recepción y medición del biosólido húmedo, de donde se establece la capacidad de tratamiento, de una etapa de secado térmico empleando un secador de contacto directo, donde la fuente de energía para el secado proviene de una mezcla de aire y gases de combustión del proceso de oxidación del gas obtenido del proceso de gasificación y una etapa de gasificación, donde el biosólido seco es sometido a

una atmósfera reductora, generándose gas de síntesis el cual es posteriormente oxidado y mezclado con aire para ser alimentado en el secador.

5 Sin embargo, la invención definida en dicha anterioridad presenta el inconveniente que se basa en el uso de un gasificador que involucra una tecnología de mayor complejidad operativa en comparación con un incinerador, así como un secador de contacto directo, donde la humedad removida y la fuente de energía, en este caso, los gases provenientes de la oxidación del gas de síntesis dan como resultado un volumen grande de gases con carga de olores
10 ofensivos que debe ser tratado.

Documento CN102322642A. El proceso descrito en la patente implementa un sistema de secado e incineración de lodos con contenidos de humedad del 80 % en 4 etapas. La primera etapa involucra un acondicionamiento del lodo buscando
15 aumentar el contenido de humedad hasta el 90 %, para lo cual adiciona agua y homogeniza la mezcla en un tanque durante 25 a 35 minutos. El lodo acondicionado es alimentado a un filtro prensa de doble diafragma, al cual se suministra aire para aumentar la presión y vapor residual que aporta energía térmica para realizar el secado del lodo, de esta forma, se obtiene lodo con
20 contenidos de humedad de hasta 30 %. El lodo seco es alimentado a un incinerador de parrilla, donde se incinera y se genera vapor a alta presión, el cual es empleado para generar energía en una turbina.

Este proceso no permite la flexibilidad operativa de producir biosólido seco
25 puesto que la energía requerida para el secado del lodo proviene exclusivamente del proceso de incineración, para lo cual se requiere la incineración del lodo secado previamente. Por otro lado, el proceso de secado implementado en la patente opera mediante baches e involucra la necesidad de aumentar previamente el contenido de humedad del lodo lo que representa un volumen de
30 agua adicional que requiere un gasto energético en el proceso de secado.

Documento CN203095827U. La invención descrita en la patente involucra el desarrollo de un sistema de secado e incineración empleando la tecnología de lecho fluidizado, de tal forma que la incineración y el secado del lodo ocurren dentro del mismo equipo. Para esto, la invención involucra una cámara de
5 secado encima de la cámara de combustión del tipo lecho fluidizado y separadas por una placa con orificios. Los gases de combustión generados en la cámara de combustión atraviesan la cámara de secado, de tal forma que logran realizar el secado del lodo. El equipo cuenta con un sistema de recolección de polvo que consta de un ciclón, de donde las partículas separadas son recirculadas a la
10 cámara de incineración, mientras que la fracción gaseosa es recirculada a la cámara de combustión en conjunto con la entrada de aire de combustión.

Este proceso requiere que exista una combustión establecida con el lodo secado previamente para poder realizar el secado de este, por lo que no ofrece la
15 posibilidad de una operación dual para generar únicamente lodo seco o cenizas según la necesidad operativa.

Documento US 5630366. El proceso descrito en la patente implementa la deshidratación del lodo líquido y secado del mismo en un equipo de tipo
20 centrifugo, que, con el uso de la energía térmica proveniente de una corriente de gases de combustión diluida con aire, permite el secado del lodo. El lodo seco se alimenta al horno de incineración en forma polvorienta, donde se lleva a cabo su combustión, los gases de combustión son diluidos con aire para disminuir su temperatura y son dirigidos a al equipo de deshidratación-secado. El proceso
25 también permite la mezcla del lodo seco con residuos domésticos.

Este proceso no permite la flexibilidad operativa de producir biosólido seco puesto que la energía requerida para el secado del lodo proviene exclusivamente del proceso de incineración, para lo cual se requiere la incineración del biosólido
30 secado.

Documento US 10247049. Esta patente describe un proceso para el tratamiento de lodos realizando el secado térmico y posterior incineración e incluyendo la generación de energía eléctrica y de agua potable. Para tal fin, el lodo húmedo, con contenidos de sólidos de hasta 15 %, es sometido a un proceso de deshidratación-secado en equipos de secado indirecto, donde la fuente de energía térmica fluye en un compartimento separado del lodo en procesamiento. La humedad removida del lodo se condensa y es tratada posteriormente. El lodo seco es incinerado en un lecho fluidizado, donde la energía liberada es empleada para generar el vapor primario que es empleado en la generación de energía eléctrica en un motor-generator de vapor. El vapor que sale del motor-generator a baja presión, se emplea en la deshidratación-secado del lodo.

En comparación con el proceso propuesto por la EAAB, este proceso no cuenta con la flexibilidad en su operación para generar únicamente lodo seco, puesto que la fuente de energía para proceso de secado proviene única y exclusivamente de la combustión del lodo seco tratado.

A partir de la información anterior, un experto en la materia puede determinar de forma clara que en el estado del arte existe una serie de divulgaciones relacionadas con el tratamiento térmico de biosólidos húmedos, incluyendo sistemas de secado de biosólidos mediante secadores indirectos y directos para producción de biosólidos Clase A, procesos integrados de secado y gasificación/combustión para generación de energía y productos benéficos, sistemas de incineración de lodos utilizando calor de humos para deshidratación, equipos de secado rotativo con calentamiento indirecto mediante vapor, co-combustión de lodos en calderas e incineradores municipales, procesos de deshidratación de lodos en lechos fluidizados, sistemas de tratamiento térmico con compresión mecánica de vapor.

De este modo, es evidente que las divulgaciones del estado del arte y definidas previamente, presentan una clara limitación basada en que los sistemas y procesos allí definidos operan en un modo de configuración única no modificable,

sin capacidad de adaptación operacional a cambios en demanda de mercado, condiciones ambientales o estrategia comercial.

Lo anterior claramente genera inflexibilidad que genera un riesgo comercial si la
5 demanda de biosólido seco disminuye, al tiempo que impide una respuesta
rápida a oportunidades de mercado para cenizas en aplicaciones de
construcción o fertilización, además que limita la capacidad de operación en
condiciones de restricción ambiental donde la incineración puede ser más viable
que aplicación agrícola, y finalmente, no optimiza la inversión de capital en
10 equipamiento que podría operarse bajo múltiples esquemas productivos.

Siendo así, es claro que existe una necesidad por diseñar e implementar un
proceso para el secado e incineración de biosólidos, el cual corresponda
específicamente a un proceso dual con flexibilidad operacional que permita
15 seleccionar entre secado con caldera de gas para producir biosólido seco, o
incineración autosuficiente del biosólido seco para producir cenizas, donde
además se hace deseable y necesario que dicho sistema y proceso cuente con
un secador de contacto indirecto operado con vapor saturado a presión
específica integrado en ambas configuraciones, al tiempo que presente
20 autosuficiencia energética en modo incineración donde el biosólido seco
alimenta la caldera que genera el vapor necesario para el propio secador, sin
fuentes externas de calor.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

25 La presente invención plantea una solución a los problemas anteriormente
descritos al suministrar un sistema y un proceso innovador y flexible para el
tratamiento térmico de biosólidos húmedos generados en plantas de tratamiento
de aguas residuales, particularmente aquellas que enfrentan volúmenes
30 significativos de biosólidos húmedos con alto contenido de humedad. El presente
proceso se caracteriza por su capacidad de operar en dos configuraciones
diferentes, permitiendo al operador seleccionar entre la producción de biosólido

seco o la producción de cenizas inertes según los requerimientos específicos de la instalación, las condiciones de mercado, las restricciones ambientales o las demandas operacionales en un momento determinado.

- 5 De este modo, la presente invención integra un secador de contacto indirecto que opera con vapor saturado a una presión controlada, diseñado para reducir el contenido de humedad de biosólidos húmedos desde niveles muy elevados, tal como de 75-80%, hasta rangos que permiten su manipulación segura y transporte eficiente, tal como de 10-20%. Dicho secador constituye el
10 componente central que opera en ambas configuraciones del proceso, maximizando así la inversión de capital y permitiendo flexibilidad operacional sin requerir de equipamiento duplicado.

- Así las cosas, en una primera configuración operacional o modo de secado, el
15 proceso utiliza una caldera de gas o biogás que genera el vapor necesario para alimentar el secador de contacto indirecto, en donde el biosólido seco (sólo con 10% de humedad) resultante presenta una reducción volumétrica de aproximadamente 70% en comparación con el biosólido crudo, este biosólido seco resulta aprovechable en mercados agrícolas y forestales. Esta
20 configuración permite aprovechar mercados disponibles para biosólido seco que cumple con requisitos de biosólidos Clase A.

- En una segunda configuración operacional o modo de incineración autosuficiente, el proceso alcanza un nivel de optimización energética superior,
25 en donde el biosólido seco producido por el secador es alimentado a una caldera de incineración especializada que combustiona este material, generando directamente el vapor necesario para operar el propio secador. Esta configuración logra una autosuficiencia energética completa sin requerir fuentes externas de calor, generando así como producto final cenizas inertes con
30 reducción volumétrica de aproximadamente 90%. Los gases de combustión generados en el proceso son tratados mediante un tren especializado de

tratamiento antes de su liberación atmosférica, cumpliendo de este modo con los estándares regulatorios ambientales.

De acuerdo con lo anterior, la presente invención permite plantear una solución a los problemas críticos de gestión de biosólidos municipales al proporcionar flexibilidad operacional que permite adaptarse dinámicamente a cambios en demanda de mercado, oportunidades comerciales emergentes, restricciones ambientales y condiciones operacionales variables. Por lo tanto, es claro que el proceso de la presente invención representa un avance técnico significativo en comparación con los sistemas convencionales de una única configuración, permitiendo la optimización simultánea de objetivos económicos, ambientales y operacionales en la gestión de biosólidos.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

La presente invención se entiende de forma más clara a partir de las siguientes figuras donde se muestran los componentes asociados al presente aparato, dispositivo o sistema, así como los elementos novedosos con respecto al estado del arte, en donde, las figuras no pretenden limitar el alcance de la invención, el cual está únicamente definido por las reivindicaciones adjuntas, en donde:

La Figura 1 corresponde a un diagrama general del sistema de la presente invención donde se evidencian los modos de operación del mismo de acuerdo con la configuración y la selección realizada.

La Figura 2 corresponde a un esquema general del sistema de la invención donde se muestran los componentes que forman parte del mismo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención está dirigida a un sistema y un proceso integrado para tratamiento térmico de biosólidos húmedos que puede ser usado en dos

configuraciones operacionales completamente distintas, en donde el proceso permite al operador de la planta de tratamiento seleccionar dinámicamente entre una primera configuración en modo secado, donde se utiliza fuente de calor externa para generar vapor que alimenta el secador, produciendo biosólido seco como producto final; o una segunda configuración en modo incineración autosuficiente, donde el biosólido seco resultante del secador es alimentado a una caldera de incineración que genera el vapor necesario para operar el propio secador, logrando autosuficiencia energética total.

- 5
- 10 El sistema comprende como elemento central un secador de contacto indirecto que es común a ambos modos de operación, y que se caracteriza por recibir vapor a presión selectivamente por dos calderas especializadas independientes: una primera caldera alimentada por gas o biogas, que se usa exclusivamente en el modo de secado; y una segunda caldera de incineración que utiliza como
- 15 combustible el biosólido previamente secado, dedicada al modo de incineración completa.

De esta forma, las Figuras 1 a 2 presentan el sistema y el proceso de tratamiento térmico de biosólidos generados en PTAR de la presente invención y que es

20 objeto de protección, en donde dicho sistema está compuesto, en general, por las siguientes partes o componentes:

- SECADOR DE CONTACTO INDIRECTO (1): un secador de contacto indirecto (1) configurado para recibir biosólido húmedo y transformarlo en biosólido seco mediante transferencia de calor indirecta. Este secador (1) constituye el núcleo del sistema y es utilizado en ambos modos operativos, el secador presenta una superficie interna por la cual circula vapor a presión como medio de calentamiento indirecto. Además, cuenta con una cámara de secado que corresponde a un recinto cerrado en el cual se introduce el biosólido húmedo con un contenido de humedad típicamente entre 75% y 85% en peso; un sistema de alimentación que es un mecanismo de introducción controlada del biosólido húmedo en la
- 25
- 30

cámara de secado, preferiblemente mediante un tornillo dosificador; un sistema de descarga que corresponde a un mecanismo para evacuar el biosólido seco desde la cámara de secado hacia la banda transportadora que junto a un cangilón transporta el biosólido seco a la tolva de almacenamiento desde donde posteriormente se transporta a la caldera de incineración, si se elige el modo de operación de incineración o se retira para destino final si se elige el modo de operación de secado.

- CALDERA DE GAS (2): una primera caldera (2) alimentada por gas o biogas, configurada para generar vapor y suministrar dicho vapor al secador. La caldera (2) está compuesta por una cámara de combustión donde se produce la combustión del gas con aire en condiciones controladas; un intercambiador de calor que corresponde básicamente a unos tubos o elementos que transfieren el calor de los gases de combustión al agua, generando así vapor; un sistema de control de combustión compuesto por quemadores, sistemas de alimentación de combustible y aire, controles de temperatura y presión; y una línea de suministro de vapor que es una tubería que conecta la salida de vapor que es la entrada de vapor del secador. Así, esta caldera de gas (2) opera cuando el sistema se encuentra en modo de secado, proporcionando la energía térmica necesaria para reducir el contenido de humedad del biosólido desde aproximadamente 80% hasta aproximadamente 10-15% en peso obteniendo como producto final un biosólido seco. Es necesario mencionar que en el modo de operación de incineración esta caldera (2) se usará temporalmente hasta que se obtenga la mínima cantidad necesaria para usar la caldera de biosólido seco, en el modo de operación de incinerador esta caldera (2) funciona en la etapa iniciación del proceso.
- SISTEMA DE CLASIFICACIÓN Y GENERACIÓN DE GRANULOMETRÍA DE BIOSÓLIDO SECO: este sistema está compuesto por un tromel de cribado que clasifica en dos la granulometría del biosólido seco: la granulometría fina es devuelta a cabeza de proceso para que se mezcle con el biosólido húmedo que está entrando al proceso, esto con el objetivo de bajar la humedad de biosólido húmedo que va a ingresar al secador. Y

la granulometría gruesa que es sometida a un proceso de unificación de granulometría al pasar esta fracción de biosólido por una peletizadora que generará una granulometría uniforme, ya con este proceso se dispone en la caldera de biosólido seco para ser incinerado.

- CALDERA DE BIOSÓLIDO SECO (3): una segunda caldera (3) de incineración configurada para recibir biosólido seco como combustible, incinerar dicho biosólido seco en presencia de aire, y generar vapor mediante recuperación de calor de combustión, dicha segunda caldera (3) de incineración está configurada para suministrar vapor al secador. Ahora bien, la segunda caldera (3) es una caldera de incineración configurada para utilizar como combustible el biosólido previamente secado en el secador, y opera exclusivamente cuando el sistema se encuentra en el segundo modo de operación, es decir, el modo de incineración. Esta segunda caldera (3) a su vez comprende una cámara de combustión diseñada específicamente para la combustión completa del biosólido seco, asegurando la oxidación completa de la materia orgánica; un sistema de alimentación de biosólido seco que corresponde a un mecanismo para introducir de manera controlada el biosólido seco desde el almacenamiento intermedio hacia la cámara de combustión, preferiblemente mediante un tornillo alimentador o sistema neumático; un intercambiador de calor para generación de vapor configurado para recuperar la energía térmica de los gases de combustión y generar vapor que alimenta el secador, cerrando el ciclo energético; un sistema de inyección de aire que proporciona aire primario y secundario en cantidades controladas para asegurar la combustión completa con exceso de oxígeno típicamente entre 6% y 10%; y una línea de suministro de vapor que es una tubería que conecta la salida de vapor de la segunda caldera con la entrada de vapor del secador. Cuando el sistema está operando en este modo, es decir, en modo de incineración, el biosólido seco actúa como combustible autógeno, generando suficiente energía térmica para mantener la temperatura de incineración requerida, generar vapor para alimentar el secador

- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO (4a, 4b, 4c): un sistema de almacenamiento compuesto por tolvas (4a, 4b, 4c) diseñadas para almacenar el biosólido húmedo (4a), biosólido seco (4b) y cenizas (4c). Estas tolvas (4a, 4b, 4c) están dimensionadas y ubicadas en diferentes partes del proceso;
- SISTEMA DE TRANSPORTE: un sistema de transporte de material (biosólido húmedo, biosólido seco y cenizas) compuesto por tornillos sinfín, bandas transportadoras y cangilones. Estos elementos se encargan de conectar los equipos y las tolvas para que el proceso sea continuo;
- SISTEMA DE CONDENSACIÓN: un sistema de condensación configurado para condensar la humedad evaporada del biosólido húmedo durante el secado en ambos modos de operación;
- TREN TRATAMIENTO DE GASES: un tren de tratamiento de gases de combustión configurado para tratar los gases provenientes de la segunda caldera de incineración durante el segundo modo de operación.
- SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL: Un sistema de automatización y control que permite medir las variables necesarias para tomar decisiones operativas y que al estar programado hace que la instalación pueda funcionar de manera continua 24 horas del día. Este sistema es monitoreado y controlado en una sala de control por sólo un operador;
- SISTEMA FOTOVOLTAICO (5): Un sistema fotovoltaico (5) que genera energía eléctrica tomando como fuente la radiación solar. Dicho sistema (5) aporta el 30% del consumo eléctrico de la instalación;

Así las cosas, la presente invención resuelve la problemática crítica de gestión de biosólidos húmedos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales brindando una solución con flexibilidad operacional para adaptarse a cambios dinámicos en demanda de mercado, oportunidades comerciales emergentes y restricciones ambientales regulatorias.

Ahora, los medios de selección de modo operativo se definen en mayor detalle a continuación.

- 5 • *MODO OPERATIVO DE SECADO:* El primer modo de operación corresponde al modo de secado, en el cual las válvulas de vapor son configuradas para alimentar vapor desde la caldera de gas hacia el secador. El secador transforma biosólido húmedo en biosólido seco, a la salida del secador se envía al almacenamiento final como producto, mientras que la segunda caldera de incineración sale de operación, así
10 como el tren de tratamiento de gases queda fuera de operación y el sistema de enfriamiento de cenizas.
- 15 • *MODO OPERATIVO INCINERADOR:* Por su parte, el segundo modo de operación corresponde al modo de incineración, en el cual el secador opera inicialmente con vapor generado en la caldera de gas, al tener una cantidad mínima estimada de biosólido seco que se almacena en una tolva, se apaga la caldera de gas y se pone en funcionamiento la caldera de biosólido seco, y una vez esta segunda caldera alcanza el régimen térmico estable, las válvulas de vapor se reconfiguran para alimentar vapor desde la segunda caldera (incineración) hacia el secador.
20 Así, el sistema opera en régimen autosostenido, en donde el biosólido seco alimenta la caldera de incineración, que genera vapor para el secador, mientras que el tren de tratamiento de gases funciona en operación continua y las cenizas se enfrían y almacenan como producto final. Posterior a la incineración las cenizas provenientes de la cámara de
25 combustión de la segunda caldera son enfriadas por medio de agua desde temperaturas de incineración hasta temperatura ambiente; un transportador de cenizas que es un sistema mecánico para trasladar las cenizas desde la cámara de combustión hasta el almacenamiento, y un contenedor de almacenamiento de cenizas que preferiblemente
30 corresponde o se puede seleccionar de una tolva, silo o contenedor para almacenar temporalmente las cenizas antes de su disposición final.

Así las cosas, las cenizas resultantes presentan una reducción de 90% del volumen inicial del biosólido húmedo, y son materiales inertes libres de olores ofensivos potencialmente aptos para aprovechamiento en la industria de fertilizantes o como agregado para elaboración de concreto y mortero o en la fabricación de ladrillos.

Finalmente, el tren de tratamiento de gases de combustión es un sistema opera exclusivamente en el modo de incineración, y está configurado para cumplir con regulaciones ambientales de emisiones atmosféricas. Dicho tren de tratamiento de gases de combustión comprende típicamente un ciclón o separador de partículas que remueve el material particulado grueso de los gases de combustión; un filtro de mangas o precipitador electrostático que captura material particulado fino (PM10, PM2.5); un sistema de neutralización de gases ácidos que hace una inyección de reactivos alcalinos (cal, bicarbonato) para neutralizar SO₂, HCl y otros gases ácidos; un sistema de reducción de NO_x, el cual es un componente opcional, y opera mediante inyección de urea o amoníaco (SNCR/SCR); y una chimenea con monitoreo continuo equipada con sistemas de medición de emisiones (CEMS) que registran niveles de CO, O₂, NO_x, SO₂, material particulado y otros parámetros según regulación aplicable.

Ahora bien, el sistema de condensación es común a ambos modos operativos y comprende un condensador que recibe la humedad evaporada del biosólido durante el secado en forma de vapor húmedo y condensa a líquido mediante enfriamiento; un sistema de enfriamiento el cual opera típicamente mediante intercambio con agua de enfriamiento o aire; un separador de condensados que separa el condensado líquido de gases no condensables; y un sistema de evacuación que corresponde a un mecanismo para descargar el condensado líquido, que puede ser tratado como agua residual o reintegrado al proceso de tratamiento de aguas residuales.

Las características del sistema propuesto son:

- a) un sistema dual para el tratamiento térmico de biosólidos húmedos generados en PTARs tal como se definió anteriormente;
- b) facilidad para operar en un primer modo de secado o en un segundo modo de incineración según los requerimientos operativos, regulatorios o de mercado;
- 5 c) cuando se opera en el modo de secado:
- i. introducir biosólido húmedo en el secador de contacto indirecto;
 - ii. generar vapor en la caldera de gas mediante combustión de gas natural o biogas;
 - 10 iii. suministrar dicho vapor al secador para secar el biosólido húmedo;
 - iv. descargar el biosólido seco desde el secador como producto final con reducción de humedad a menos del 10%;
 - v. condensar la humedad evaporada durante el secado; y
 - vi. mantener la caldera de incineración inoperativa;
- 15 d) cuando se opera en el modo de incineración:
- i. introducir biosólido húmedo en el secador de contacto indirecto;
 - ii. generar vapor para el secador utilizando inicialmente la caldera de gas durante el periodo de arranque. Se usará esta caldera hasta tener la cantidad de biosólido seco necesario para poder usar la caldera de biosólido seco;
 - 20 iii. dirigir el biosólido seco producido hacia el almacenamiento intermedio;
 - iv. alimentar el biosólido seco desde el almacenamiento intermedio a la caldera de biosólido seco para incinerarlo;
 - 25 v. incinerar el biosólido seco en la caldera de biosólido seco generando vapor;
 - vi. suministrar el vapor generado por la segunda caldera al secador de discos rotativos, operando en ciclo autosostenido;
 - 30 vii. enfriar y almacenar las cenizas resultantes de la incineración como producto final con reducción de volumen de aproximadamente 90% con respecto al biosólido húmedo inicial;

- viii. tratar los gases de combustión en el tren de tratamiento de gases;
y
- ix. condensar la humedad evaporada durante el secado.

5 Así las cosas, cuando el proceso se encuentra en el primer modo de secado, el
objetivo del proceso es la generación de un biosólido seco, el cual típicamente
con tiene entre 75-85% de humedad en peso, y es introducido continuamente en
el secador. El secador es calentado internamente por el vapor proveniente de la
primera caldera de gas y transfieren calor al biosólido por contacto indirecto. Así,
10 la humedad del biosólido se evapora progresivamente a medida que el material
avanza a través del secador.

En este modo de secado la generación de vapor se realiza con la caldera de gas,
quemando gas natural, o GLP o biogas en su cámara de combustión. Así, los
15 gases calientes transfieren su energía térmica al agua en el intercambiador de
calor, generando vapor saturado o ligeramente sobrecalentado a una presión
que se encuentra típicamente entre 5 y 15 bar, y donde dicho vapor es
suministrado continuamente al secador.

20 Luego, el vapor de agua evaporado del biosólido, junto con los gases y vapores
orgánicos liberados durante el secado, se extrae del secador mediante un
sistema de extracción y es dirigido al aerocondensador. Con esto, el
condensador enfría la corriente gaseosa, condensando así el vapor de agua a
líquido, donde dicho condensado, que puede contener compuestos orgánicos
25 disueltos, se recolecta y se reintegra al sistema de tratamiento de aguas
residuales de la planta.

En este sentido, se obtiene como producto final en este primer modo de secado
un biosólido seco que tiene un contenido de humedad de 10% en peso,
30 presentando una reducción de volumen de aproximadamente 70% con respecto
al biosólido húmedo inicial, en donde dicho biosólido seco es presentado en
forma granular o particulada y el cual puede ser utilizado o aprovechado como

enmienda orgánica para suelos, compostaje, combustible alternativo, entre otros, sin limitaciones.

Ahora, cuando el proceso se encuentra en el segundo modo de incineración, el
5 objetivo principal es la generación de cenizas, en donde se tiene una primera
etapa idéntica a la primera etapa del primer modo de secado, es decir, en donde
el biosólido húmedo se seca en el secador hasta alcanzar aproximadamente
20% de humedad. Sin embargo, en este segundo modo de incineración, el
biosólido seco no se dirige hacia el almacenamiento final sino hacia un
10 almacenamiento intermedio.

Durante el arranque del segundo modo de incineración, el secador es alimentado
inicialmente con vapor proveniente de la primera caldera de gas, de manera
idéntica al primer modo de secado, para comenzar a producir biosólido seco,
15 donde este biosólido seco se acumula en el almacenamiento intermedio hasta
alcanzar una cantidad suficiente para iniciar la segunda caldera de incineración.

Luego, una vez se ha acumulado suficiente biosólido seco (típicamente 500-
2000 kg según escala), se inicia la segunda caldera de incineración. Así, el
20 biosólido seco se alimenta de manera controlada a la cámara de combustión
junto con aire primario y secundario, en donde la combustión del biosólido genera
temperaturas entre 850°C y 1100°C.

De este modo, el calor de combustión es aprovechado en un intercambiador de
25 calor recuperador para generar vapor, típicamente a una presión similar o
ligeramente superior a la generada por la primera caldera de gas, es decir de 5-
15 bar. Una vez la segunda caldera alcanza un régimen térmico estable y genera
suficiente vapor, el sistema se reconfigura de modo que se cierra el suministro
de vapor desde la primera caldera de gas hacia el secador, y se abre el
30 suministro de vapor desde la segunda caldera de incineración hacia el secador.

A partir de este momento, el sistema opera en ciclo autosostenido, en donde el biosólido húmedo entra al secador, el vapor de la caldera de incineración seca el biosólido, el biosólido seco alimenta la caldera de incineración, y la caldera de incineración genera vapor que retorna al secador. De este modo, la primera caldera de gas puede mantenerse en modo inoperativa, actuando solo como respaldo en caso de perturbaciones.

Así, las cenizas resultantes de la combustión completa en la segunda caldera salen de la cámara de combustión a temperaturas superiores a 800°C e inmediatamente son sumergidas en agua para bajar su temperatura, posteriormente estas cenizas se transportan mediante un sistema de molienda y transporte (molino, bandas transportadoras y canjilones) hacia una tolva donde se almacenan en un contenedor para su posterior disposición final.

Después de esto, se procede con el tratamiento de los gases de combustión, en donde los gases de combustión, que salen del intercambiador de calor de la segunda caldera a temperaturas típicamente entre 250°C y 400°C, pasan a través del tren de tratamiento de gases. Primero atraviesan un ciclón o separador de partículas que remueve ceniza volante gruesa, luego pasan por un filtro de mangas o precipitador electrostático que captura material particulado fino. Así, si los gases contienen componentes ácidos (tal como SO₂, HCl), se inyectan reactivos alcalinos para neutralizarlos. Opcionalmente, se puede implementar un sistema de reducción de NO_x. Así, los gases tratados, cumpliendo con límites de emisión aplicables, se descargan a la atmósfera a través de una chimenea equipada con un sistema de monitoreo continuo.

Finalmente, se realiza un paso de condensación, el cual es idéntico al paso de condensación definido en el primer modo de secado, en donde la humedad evaporada del biosólido durante el secado se condensa y se recolecta.

En este sentido, el producto final obtenido del proceso en el segundo modo de incineración corresponde a cenizas que presentan unas características

específicas, tal como una composición basada en óxidos inorgánicos (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , P_2O_5), una reducción de volumen de aproximadamente 90% con respecto al biosólido húmedo inicial, una reducción de peso de aproximadamente 85-90% con respecto al biosólido húmedo inicial, con una
5 forma de polvo fino o granular fino y un contenido de humedad menor a 5%. Además, es un material inerte, el cual es apto para aprovechamiento en la industria de fertilizantes, en la industria de construcción o para disposición final en el relleno sanitario.

10 De acuerdo con lo definido anteriormente, el sistema y el proceso de la presente invención proporcionan una serie de ventajas técnicas y operativas con respecto a los sistemas y procesos similares existentes en el estado de la técnica, dentro de las que se encuentra la flexibilidad operativa, dado que el sistema está en capacidad de operar en dos modos diferentes según requerimientos específicos,
15 tal como se definieron anteriormente, es decir, un primer modo de secado cuando existe mercado o regulación favorable para biosólido seco (uso agrícola, enmienda de suelos), o un segundo modo de incineración cuando la regulación restringe el uso de biosólidos o no existe mercado, requiriéndose la disposición final como cenizas inertes.

20 Esta flexibilidad evita la necesidad de realizar una inversión inicial en dos plantas independientes, es decir, una de secado y otra de incineración, reduciendo de este modo significativamente la inversión de capital estimada entre 40-50% comparado con contar con dos sistemas separados.

25 Así mismo, el sistema y el proceso de la invención presentan eficiencia energética, dado que en el segundo modo de incineración, el sistema opera en un ciclo autosostenido donde el biosólido seco actúa como combustible autógeno, en donde el poder calorífico típico del biosólido seco (con 10-15% de
30 humedad) es de 12-18 MJ/kg, lo que sería suficiente para lograr autosostenibilidad térmica de la combustión, generación de vapor para el secador, y potencial excedente energético. Esto reduce drásticamente el

consumo de gas natural comparado con operar solo en el primer modo de secado de manera continua.

Adicionalmente, se crea una reducción considerable de costos operativos, toda vez que en el primer modo de secado hay consumo de gas natural pero generación de producto con valor comercial (biosólido seco), mientras que en el segundo modo de incineración hay consumo mínimo o nulo de gas natural en régimen (solo arranque) y además las cenizas también tienen una alta oportunidad de aprovechamiento en la industria de fertilizantes o en la industria de construcción.

Sumado a esto, el sistema de la presente invención tiene infraestructura compartida, dado que el secador, el sistema de condensación, el almacenamiento y los controles son comunes a ambos modos de operación, optimizando así la inversión y el espacio físico, sin requerir de dos plantas por separado, como se indicó previamente.

Finalmente, el sistema y el proceso de la presente invención tienen cumplimiento regulatorio flexible, dado que el sistema permite adaptarse a cambios regulatorios sin nueva inversión de capital, es decir, si la regulación cambia de permitir a prohibir el uso agrícola de biosólidos se hace entonces un cambio y se opera en el segundo modo de incineración, pero si la regulación incentiva el aprovechamiento de biosólidos, se cambia a la operación en el primer modo de secado.

Aunque la anterior descripción define las modalidades preferidas de la presente invención, también se contempla dentro del alcance del presente documento las diferentes modificaciones que puedan ser evidentes para un experto en la materia, en donde dicho alcance no se encuentra de ninguna forma limitado a las modalidades preferidas, sino que se define únicamente por las reivindicaciones adjuntas y la materia allí incluida.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para el tratamiento térmico de biosólidos en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), caracterizado porque comprende:
 - 5 • un secador de contacto indirecto (1) que recibe biosólido húmedo y produce biosólido seco mediante transferencia de calor indirecta;
 - una primera caldera (2) alimentada por gas y que genera vapor y suministra dicho vapor al secador;
 - una segunda caldera de incineración (3) que recibe biosólido seco como combustible, incinera dicho biosólido seco en presencia de aire en exceso a temperatura entre 850°C y 1100°C generando vapor que se suministra al secador (1);
 - 10 • un sistema de almacenamiento intermedio (4a, 4b, 4c) del biosólido seco proveniente del secador y que suministra dicho biosólido seco a la segunda caldera de incineración;
 - 15 • unos medios de selección de operación, donde dicho modo de operación se selecciona de un primer modo de operación de secado o un segundo modo de operación de incineración;
 - un sistema de condensación de la humedad evaporada del biosólido durante el secado en ambos modos de operación; y
 - 20 • un tren de tratamiento de gases de combustión que trata los gases provenientes de la segunda caldera de incineración (3) durante el segundo modo de operación.
- 25 2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el combustible fósil en la primera caldera (2) se selecciona del grupo que consiste en gas natural, gas GRP o biogas.
- 30 3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el secador (1) presenta una superficie interna de circulación de vapor a presión como medio de calentamiento indirecto; una cámara de secado, un sistema de alimentación de introducción controlada del biosólido húmedo en la

cámara de secado y un sistema de descarga del biosólido seco desde la cámara de secado hacia el almacenamiento o hacia la segunda caldera de incineración, según el modo operativo seleccionado.

- 5 4. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la primera caldera (2) comprende una cámara de combustión; un intercambiador de calor; un sistema de control de combustión compuesto por quemadores, sistemas de alimentación de combustible y aire, controles de temperatura y presión; y una línea de suministro de vapor que conecta la salida de vapor de la primera caldera (2) con la entrada de vapor del secador de discos rotativos (1).
- 10
5. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la segunda caldera (3) es de incineración y comprende una cámara de combustión; un sistema de alimentación de biosólido seco que introduce el biosólido seco desde el almacenamiento intermedio hacia la cámara de combustión; un intercambiador de calor de generación de vapor; un sistema de inyección de aire; y una línea de suministro de vapor que conecta la salida de vapor de la segunda caldera (3) con la entrada de vapor del secador de discos rotativos (1).
- 15
- 20
6. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de almacenamiento intermedio (4a, 4b, 4c) de biosólido seco es un silo, tolva o contenedor intermedio que se conecta a la segunda caldera de incineración (3).
- 25
7. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de condensación es común a los dos modos operativos y comprende un condensador de humedad evaporada del biosólido durante el secado en forma de vapor húmedo; un sistema de enfriamiento por intercambio con agua de enfriamiento o aire; un separador de condensados; y un sistema de evacuación de descarga del condensado líquido.
- 30

- 5 8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque además comprende un sistema de enfriamiento y almacenamiento de cenizas únicamente en modo de incineración y comprende una cámara de enfriamiento; un transportador de cenizas mecánico que traslada las cenizas desde la cámara de combustión hasta el almacenamiento; y un contenedor de almacenamiento de cenizas.
- 10 9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el tren de tratamiento de gases de combustión comprende un ciclón o separador de partículas; un filtro de mangas; un sistema de neutralización de gases ácidos con inyección de reactivos alcalinos; un sistema de reducción de NOx; y una chimenea con monitoreo continuo equipada con sistemas de medición continua de emisiones.
- 15 10. Un proceso flexible para el tratamiento térmico de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), caracterizado porque comprende los pasos de:
- 20 a) proporcionar un sistema de tratamiento térmico de biosólidos generados en PTAR de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9;
- b) seleccionar operar en un primer modo de secado o en un segundo modo de incineración según los requerimientos operativos, regulatorios o de mercado;
- 25 c) cuando se opera en el primer modo de secado:
- i. introducir biosólido húmedo en el secador (1);
- ii. generar vapor en la primera caldera (2) mediante combustión de combustible gas;
- iii. suministrar dicho vapor al secador de contacto indirecto (1) para secar el biosólido húmedo;
- 30 iv. descargar el biosólido seco desde el secador (1) como producto final con reducción de volumen con respecto al biosólido húmedo inicial;

- v. condensar la humedad evaporada durante el secado; y
- vi. mantener la segunda caldera (3) de incineración inoperativa;
- d) cuando se opera en el segundo modo de incineración:
 - i. introducir biosólido húmedo en el secador de contacto indirecto (1);
 - 5 ii. generar vapor para el secador (1) utilizando inicialmente la primera caldera (2) durante el arranque;
 - iii. dirigir el biosólido seco producido hacia el almacenamiento intermedio (4a, 4b, 4c);
 - 10 iv. alimentar el biosólido seco desde el almacenamiento intermedio a la segunda caldera de incineración (3);
 - v. incinerar el biosólido seco en la segunda caldera (3) a una temperatura en el rango entre 850°C y 1100°C generando vapor;
 - vi. suministrar el vapor generado por la segunda caldera (3) al secador (1), operando en ciclo autosostenido;
 - 15 vii. enfriar y almacenar las cenizas resultantes de la incineración como producto final con reducción de volumen con respecto al biosólido húmedo inicial;
 - viii. tratar los gases de combustión en el tren de tratamiento de gases; y
 - 20 ix. condensar la humedad evaporada durante el secado.

11. El proceso de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque en el primer modo de secado el biosólido seco tiene entre 75-85% de humedad en peso y es introducido continuamente en el secador, en donde el vapor

25 proveniente de la primera caldera de gas y transfieren calor al biosólido por contacto indirecto.

RESUMEN

La presente invención se relaciona con un sistema y un proceso dual y flexible para el tratamiento térmico de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales, en donde dicho proceso permite la operación alternativa entre dos configuraciones productivas de producción de biosólido seco mediante secado térmico con suministro de vapor desde caldera de gas o biogás, o producción de cenizas inertes mediante incineración autosuficiente energéticamente del biosólido previamente secado. Así, la presente invención combina un secador de contacto indirecto que opera con vapor saturado a presión controlada, con dos sistemas de generación de calor alternativos que permiten al operador seleccionar el producto final según requerimientos de mercado, condiciones operativas y restricciones ambientales. El proceso resuelve entonces problemáticas específicas de gestión de biosólidos municipales caracterizadas por un incremento significativo en volumen de producción diaria, un alto contenido de humedad que dificulta manejo y transporte, las restricciones ambientales para disposición en suelos, y la necesidad de reducción volumétrica económicamente viable.

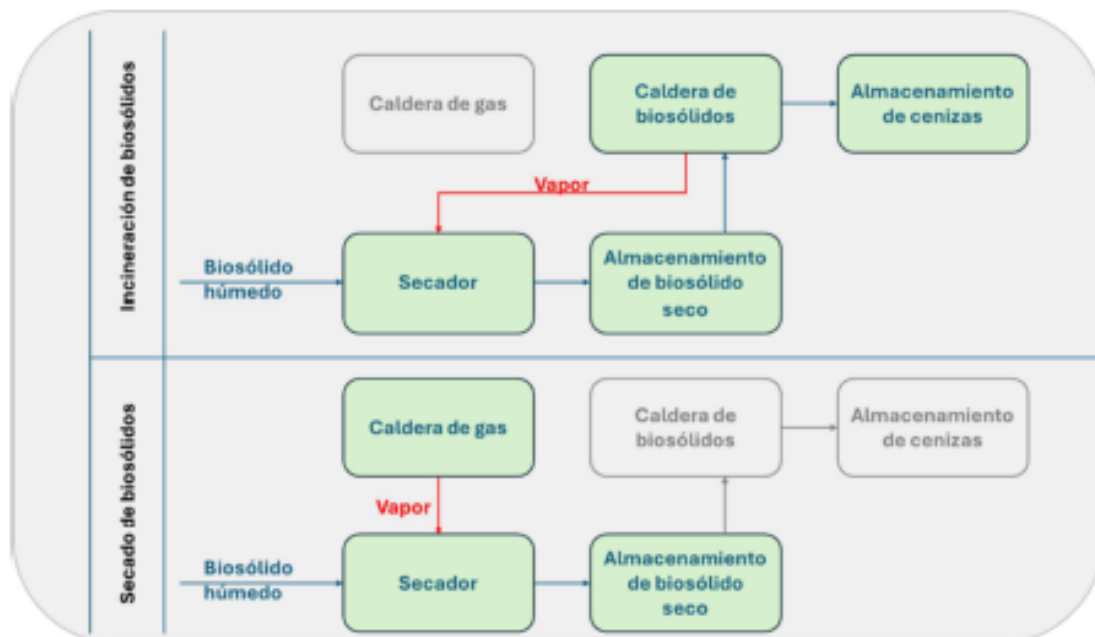


FIG. 1

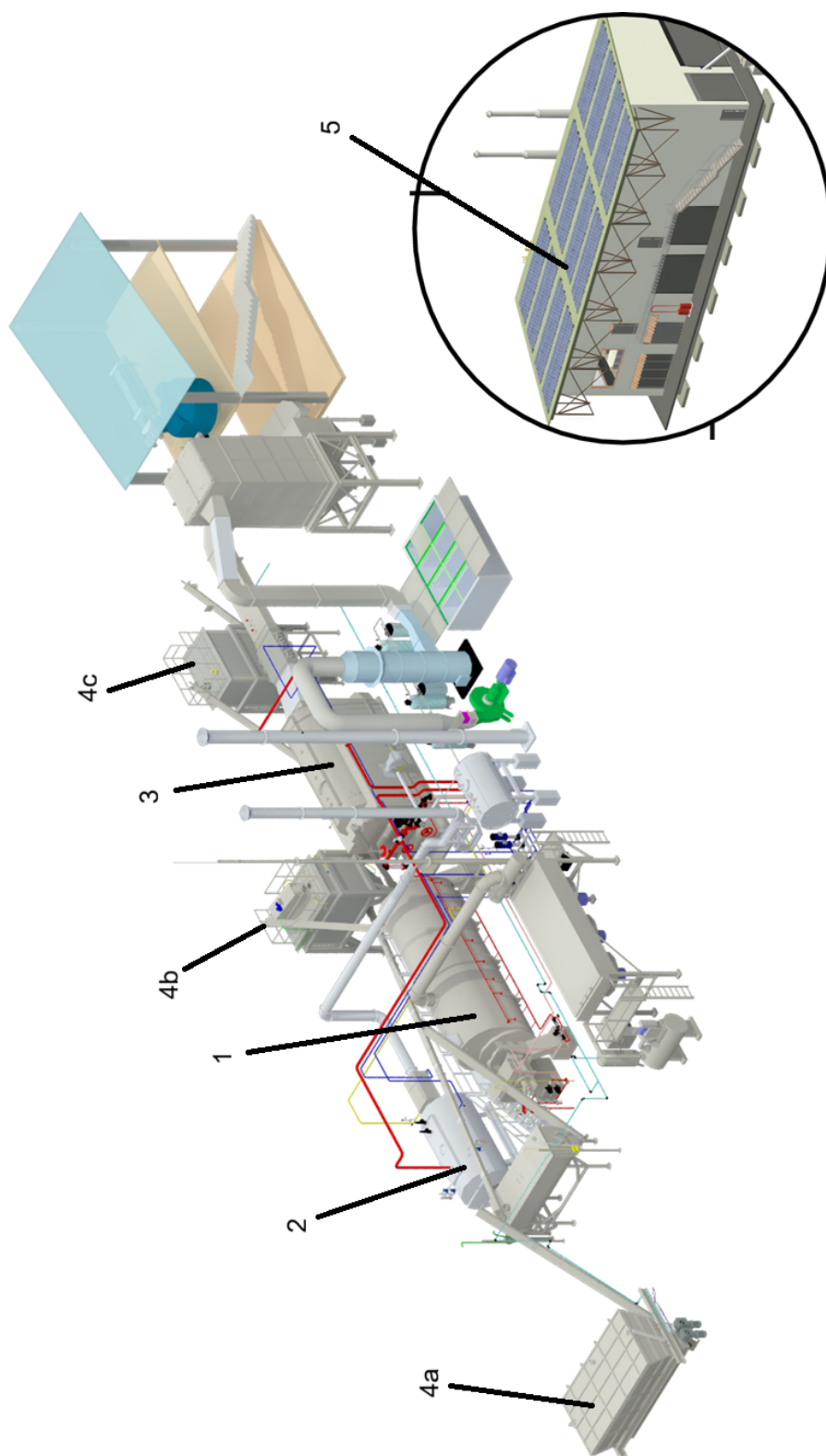


FIG. 2