

- 5 Un sistema y método para la renovación de la zona no
convectiva en un estanque solar de salinidad
gradiente

REFERENCIA CRUZADA A LA APLICACIÓN RELACIONADA

10 Esta aplicación toma prioridad de y reivindica el
beneficio de la Solicitud de Patente de Utilidad de los
Estados Unidos con serie No. 14/736,451 radicada el 11 de
junio del 2015, que a su vez toma prioridad de y reivindica
el beneficio de la Solicitud de Patente Provisional de los
15 Estados Unidos No. 62/010,576 radicada el 11 de junio 11 del
2014, cuyos contenidos están aquí incorporados por
referencia.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

CAMPO DE LA INVENCION

20 Los presentes sistema y método están relacionados de
manera general a la práctica de mantener un gradiente de
salinidad en un Estanque Solar de Salinidad Gradiente (ESSG),
y de manera más particular a un Sistema y método para la
renovación de la zona no convectiva en un ESSG.

25

DESCRIPCION DEL ARTE RELACIONADO

Un ESSG es un estanque poco profundo y de salinidad
gradiente que permite la recolección y almacenamiento de
energía solar térmica (Ver Figura 1). En el ESSG, la energía

5 solar es absorbida por el fondo del estanque que a su vez
calienta el fluido saturado en sal adyacente (la "zona
convectiva inferior", o ZCI, en la Figura 1). Como la ZCI es
más pesada que las capas encima de la misma, dada su
salinidad superior, el fluido calentado no puede subir en el
10 estanque y enfriarse, como en un estanque normal, sino que en
cambio permanece en el fondo, calentándose más a medida que
almacena más energía térmica solar. Con el tiempo,
típicamente varios meses desde la construcción inicial, a
medida que la ZCI almacena más y más energía solar térmica,
15 la temperatura de la salmuera se acercará a la temperatura de
ebullición. Esta energía solar térmica recolectada y
almacenada puede ser retirada (salmuera caliente bombeada)
como calor de proceso que puede ser usado para generar
electricidad al usar una máquina térmica convencional de baja
20 temperatura disponible en el mercado.

El ESSG puede recolectar y almacenar calor, y distribuir
potencia a una tasa promedio y uniforme (carga base), o puede
distribuir potencia de acuerdo con las necesidades (en
demanda), proporcionando control de distribución en la salida
25 de potencia en lugar de estar forzado a producir potencia
solamente cuando el viento sopla o el sol brilla, haciendo
que los sistemas ESSG sean muchas veces más efectivos que
renovables intermitentes. Los sistemas de ESSGs pueden ser
construidos fácilmente sobre grandes áreas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

10 El sistema y método a continuación, de acuerdo con lo
ilustrado en este documento, está claramente no anticipado,
ni se hace obvio, ni siquiera está presente en alguno de los
mecanismos del arte previo, ya sea solo o en combinación
alguna. Así, varias realizaciones del sistema y método a
15 continuación son ilustradas en este documento.

El presente sistema y método, un Método de Estanque
Circulante, provee medios eficientes por los cuales ejercer
mantenimiento del gradiente en un sistema de potencia tipo
Estanque Solar de Salinidad Gradiente (ESSG). El Método de
20 Estanque Circulante es más eficiente que los métodos
practicados en el pasado para mantenimiento del gradiente en
ESSGs, e.g., el Método de Lavado de Superficie, y esa
eficiencia mejorada es esencial para la utilización comercial
de sistemas de potencia de ESSGs. La comercialización de la
25 tecnología de ESSGs es vital para la industria de energías
renovables, particularmente en tanto que las energías
renovables intermitentes están dando lugar a problemas de
administración y a costos incrementados. Los sistemas de
ESSGs recolectan y almacenan calor, y son capaces de

5 distribuir potencia a una tasa promedio y uniforme (carga-
base), o puede distribuir potencia de acuerdo con las
necesidades (en demanda), proporcionando control de
distribución en la salida de potencia en lugar de estar
forzado a producir potencia solamente cuando el viento sopla
10 o el sol brilla. Esta característica, junto con otros
beneficios sinérgicos que GEM ha desarrollado (e.g.,
sumideros de sal a gran escala para auxilio al ambiente),
hacen que los sistemas de ESSGs sean mucho más efectivos que
las energías renovables intermitentes. El equipo de GEM se
15 encuentra actualmente comprometido en el lanzamiento
comercial de su tecnología de ESSG y la invención aquí
desvelada es crucial para dicho lanzamiento comercial. El
Método del Estanque Circulante, de manera paralela al Sistema
del Estanque en Precipitación previamente desvelado y de la
20 práctica del Método del Estanque en Precipitación, le brindan
a GEM un control firme del gradiente de salinidad para las
prácticas comerciales de las tecnologías de ESSGs.

Good Earth Mechanics, LLC (GEM) se encuentra actualmente
comercializando las tecnologías de ESSGs. El equipo de ESSGs
25 de GEM comprende los administradores y directores que
operaron el desarrollo de ingeniería y la prueba piloto del
ESSG en operación más grande del mundo, a la fecha
(Universidad de Texas, El Paso) de 1985 a 2002 (*Advancements
in Salinity Gradient Solar Pond Technology Based on 16 Years*

5 *of Operational Experience*, Huanmin Lu, Andrew H. P. Swift,
Herbert D. Hein, Jr., John C. Walton; J. Solar Energy Eng.,
v.126, p. 759-767, May 2004). GEM construirá realizará el
despliegue de los sistemas de ESSGs haciendo uso de sus
módulos comerciales de 250kW, que a su vez utilizan dos
10 estanques en cada módulo (ver Fig. 2). Los estanques son
embalses con diques contra hoyos excavados, en donde la
tierra del centro de los estanques se usa para formar los
diques. Los sistemas ESSG de GEM son expandibles de manera
modular: El sitio del sistema de potencia tipo ESSG de GEM
15 puede ser tan reducido como para 250kW, o ser aumentado hasta
los cientos de MWs, con la simple adición de más módulos de
ESSG. Un corte del sistema ESSG de GEM en la figura muestra
cómo un motor térmico de baja temperatura que usa el Ciclo
Orgánico de Rankine (ORC por sus siglas en inglés), y que se
20 puede encontrar típicamente en el mercado, hace circular
tanto la salmuera caliente del estanque como el agua
superficial fresca. La salmuera caliente es la fuente térmica
y el agua fresca funciona como un sumidero de calor ORC; es
la diferencia de temperatura entre el fondo y la superficie
25 superior del sistema ESSG la que hace funcionar el motor
térmico.

Dada la estratificación de la salinidad en el ESSG la
difusión hacia arriba de la sal se da como consecuencia
natural. Se ha encontrado que esta difusión hacia arriba está

5 en un rango de 60-80 gr/m²/día (Tabor, H.; *Solar Ponds*, Solar Energy, v.27 (3), pp.181-194, 1981 and v.30 (1), pp.85-86, 1983). Controlar el gradiente de salinidad en sistemas ESSG es vital para su operación confiable y eficiente. El método para controlar el gradiente de salinidad desvelado en esta
10 aplicación, acuñado "Método del Estanque Circulante" por los autores, permite que las zonas superior e inferior del estanque solar sean rápidamente drenadas y almacenadas en las zonas correspondientes de los estanques circundantes en el arreglo de ESSGs (ver Fig. 2); esto minimiza las pérdidas de
15 calor y de agua mientras se utiliza eficientemente el terreno dispuesto para el arreglo de ESSGs. El francobordo disponible en los estanques del arreglo está diseñado para permitir el volumen que se adiciona periódicamente, e.g., el francobordo dentro del arreglo está diseñado para 1/3 adicional del
20 volumen de cada una de las zonas superior e inferior, en adición al francobordo nominal para retener la acción de olas inducidas por el viento (i.e. para el caso en donde las zonas superior e inferior del estanque bajo reparación se almacena en los tres estanques circundantes, o 1/5 del volumen
25 adicional si se almacena en los cinco estanques circundantes, etc.). La modularidad del arreglo de ESSGs, propuesta por GEM para el ejercicio comercial, es la llave para el ejercicio del Método del Estanque Circulante.

5 Una vez las zonas superior e inferior del estanque son
bombeadas hacia fuera del mismo, dejando solo la zona
gradiente en el estanque bajo reparación, la zona gradiente
puede ser renovada (el procedimiento para realizar esta
renovación se discute en "Descripción de la invención").
10 Luego de que la zona gradiente ha sido renovada, los
volúmenes de las zonas inferior y superior son regresados
desde los estanques circundantes. Al almacenar la zona
inferior del estanque bajo reparación en las zonas inferiores
calientes de los estanques circundantes, las pérdidas de
15 calor son minimizadas. De manera similar, el almacenamiento
de la zona superior en los estanques circundantes minimiza
las pérdidas de agua.

En el Método del Estanque Circulante se le permite a la
sal del estanque ser difundida hacia arriba con el tiempo y
20 el método es usado según se necesite para restaurar el
gradiente. Otros métodos usados para controlar el gradiente
en ESSG incluyen el Método de Lavado de Superficie ilustrado
en la Fig. 3.

En el Método de Lavado de Superficie se le permite a la
25 sal difundirse hacia arriba hacia la capa superficial. A
medida que la capa de la superficie se saliniza, es
reemplazada con agua dulce, o "lavada". El agua superficial
desplazada es evaporada para formar salmuera de sal
concentrada en un estanque de evaporación separado y es luego

5 retornada al fondo del ESSG. Este método, si bien factible
para la demostración del trabajo en ESSG y de las prácticas
típicas en el mantenimiento del gradiente hasta hoy en día,
no es práctico para la comercialización de ESSGs a gran
escala debido a los requerimientos de terreno adicional y las
10 más elevadas pérdidas en calor y agua requeridas cuando se
practica el método. El Método del Estanque Circulante es
superior en tanto que minimiza las pérdidas de agua y calor,
el terreno requerido, y los costos cuando se compara con el
Método de Lavado de Superficie.

15 Se ha esbozado entonces, de manera más bien general, un
sistema y método que se relaciona de manera general a la
práctica de mantener un gradiente de salinidad en un Estanque
Solar de Salinidad Gradiente (ESSG), y de manera más
particular a un Sistema y método para la renovación de la
20 zona no convectiva en un ESSG con el fin de que se entienda
mejor la descripción detallada aquí en adelante, y con el fin
de que la presente contribución al arte sea mejor apreciada.
Existen características adicionales de la invención que serán
descritas en lo que sigue del documento, y que conformarán el
25 objeto de las reivindicaciones aquí anexas.

En este sentido, antes de explicar en detalle por lo
menos una de las modalidades de la invención, debe ser
entendido que la invención no se encuentra limitada en su
aplicación en lo que respecta a los detalles de construcción

5 y en lo que respecta a los componentes enunciados en la
siguiente descripción o ilustrados en los dibujos. La
invención comprende otras realizaciones y la capacidad de ser
practicada y llevada a cabo de varias maneras. Además, se
debe entender que la fraseología y terminología empleadas en
10 este documento están ahí con propósitos descriptivos y no
deberían ser entendidos como limitantes.

Lo anterior en conjunto con otras partes de la
invención, y en conjunto con las varias características de
novedad, que caracterizan la invención, son resaltadas en
15 particular dentro de las reivindicaciones anexas y que hacen
parte de esta publicación. Para un mejor entendimiento de la
invención, sus ventajas operativas y los beneficios
específicos obtenidos por su utilización, se debe hacer
referencia a los dibujos que acompañan este documento y la
20 descripción en la que se ilustran las realizaciones
preferidas de la invención.

La **Fig. 1** ilustra una perspectiva del diagrama del funcionamiento básico de un Estanque Solar de Salinidad Gradiente (ESSG) a manera de ejemplo.

10 Las **Figs. 2A-2C** ilustra una modalidad del Módulo ESSG Comercial de 250kW de Good Earth Mechanics (GEM), que puede utilizar por lo menos dos unidades de estanque por cada módulo.

La **Fig. 3** ilustra un ejemplar conocido del método
15 practicado en el estado del arte para el control de gradiente en un ESSG, denominado como el "Método de Lavado de Superficie".

La **Fig. 4** ilustra una modalidad de un Dispositivo de Estanque en Precipitación en operación con un sistema ESSG
20 para mantener el gradiente de salinidad.

La **Fig. 5** ilustra una vista de corte de una modalidad del sistema ESSG actual, mostrando las dimensiones típicas de las tres capas del estanque: la Zona Convectiva Superior; la Capa No Convectiva; y la Zona Convectiva Inferior.

25 Las **Figs. 6A-6C** ilustran varias modalidades de un esquema imaginario para la transferencia de la ZCI caliente desde un estanque individual en el arreglo de ESSGs hacia la ZCI correspondiente en los siete estanques circundantes.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS VARIAS MODALIDADES

La descripción detallada que se establece a continuación, en conexión con los dibujos anexos, pretende servir como una descripción de las modalidades preferidas actualmente para la invención y no representan las únicas formas en las que la presente invención puede ser construida y/o utilizada. La descripción establece las funciones y la secuencia de pasos para la construcción y operación de la invención en conexión con las modalidades ilustradas.

Good Earth Mechanics, GEM, ha desarrollado dos prácticas para mantener el gradiente en Estanques Solares de Salinidad Gradiente, ESSG, en operación comercial, cualquiera de las cuales por sí misma sería teóricamente suficiente para mantener el gradiente en un ESSG, en donde ambos métodos al aplicarse de manera conjunta aseguran la habilidad de GEM para controlar el gradiente en ESSG. La primera práctica, un Dispositivo Estanque en Precipitación que permite el uso del Método del Estanque en Precipitación, fue expuesta en una Aplicación pasada.

El Método del Estanque en Precipitación se ilustra en la Figura 4, en donde el Dispositivo causa que el gradiente "caiga" a la misma tasa a la que la sal se difunde hacia arriba en el estanque. La segunda práctica, acuñada como "Método del Estanque Circulante" por los autores, es el objeto de esta Aplicación.

5 Es útil mostrar que la velocidad de la difusión natural
de sal hacia arriba es:

$$[1] \quad V = \frac{1}{s} \left(\kappa_s \frac{\partial s}{\partial z} \right)$$

En donde s = concentración de la sal
 κ_s = difusividad de la sal (~1.55E-
10 09 m²/s)
 z = profundidad (m)
 V = velocidad (m/s)

Para un "módulo" comercial típico de GEM de 250kW en ESSG,
como se ilustra en la Figura 2, la velocidad de difusión es
15 aproximadamente 1.29E-09 m/s, o aproximadamente 1.6 pulgadas
por cada año.

El Método del Estanque Circulante permite que la
difusión natural de sal tenga lugar sin disminución y, que a
través del tiempo, requiera la renovación del gradiente de
20 salinidad. Esta renovación del gradiente será realizada "a
condición", i.e. según lo requerido. Nominalmente, el
gradiente necesitará renovación cada tres años más o menos
(e.g. aproximadamente 5 pulgadas de propagación hacia arriba
del gradiente). Es de notar que el Dispositivo Estanque en
25 Precipitación está diseñado para mantener el gradiente en su
lugar y, si funciona perfectamente, niega la necesidad del
Método del Estanque Circulante. Sin embargo, en operaciones
comerciales se anticipa la presencia de efectos perjudiciales
inusitados (e.g. eventos en los que se presentan vientos de
30 alta intensidad que erosionan el gradiente superior, eventos

5 de biota que dan lugar a inestabilidad en el gradiente, etc.)
y el Método del Estanque Circulante provee un plan de
respaldo para el Método del Estanque en Precipitación para el
mantenimiento de gradiente de salinidad en GEM.
Adicionalmente, el Método del Estanque Circulante permite
10 también a GEM el drenado y rellenado de manera eficiente de
los estanques solares para la realización de mantenimiento
del tanque o cubierta.

Para ilustrar el Método del Estanque Circulante (MEC)
refiérase a la sección transversal de un ESSG típico en la
15 Figura 5, en donde se muestran las tres zonas distintas del
sistema ESSG: [1] la zona convectiva superior (ZCS), que es
la capa superior homogénea de agua dulce a ligeramente
salobre a temperatura ambiente; [2] la zona no convectiva
(ZNC), que es la capa gradiente a ser renovada (e.g.
20 gradiente desviado por efecto de difusión, mezcla, etc.); y
[3] la zona convectiva inferior (ZCI), que es la capa
caliente del fondo de alta salinidad que almacena la energía
solar térmica. El MEC se usa para renovar la ZNC en un
estanque individual primeramente mediante el drenado de la
25 ZCI y la ZCS del estanque de tal manera que se minimicen las
pérdidas de calor y agua y el terreno requerido. La ZNC es
entonces renovada in situ, para posteriormente reemplazar la
ZCI y la ZCS para completar el MEC.

5 Para realizar este drenaje optimizado y la
reconstrucción de un estanque individual el MEC incorpora el
diseño modular de GEM (Figura 2). La ZCI y la ZCS del tanque
bajo reparación son bombeadas hacia zonas correspondientes en
los estanques circundantes, como se sugiere en la Figura 6.

10 El gráfico en el lado izquierdo de la Figura 6 ilustra la
transferencia de la ZCI en el caso general de un estanque
interno dentro de un arreglo ESSG (nótese que los ocho
estanques mostrados en el gráfico generalmente equivaldrían a
un sistema con carga base de 1MW, i.e., cuatro motores

15 térmicos mostrados como se muestra en la Figura 2). Una
unidad simple que comprende mangueras y una bomba es usada
para transferir el doble del flujo de circulación nominal de
la ZCI desde el estanque bajo reparación, en donde esto se
indica por medio de las flechas "2x" en la Figura 6.

20 Generalmente hay tres de estas unidades de bombas y
mangueras, para bombear un total de seis veces el flujo
nominal de la ZCI hacia los tres estanques circundantes.
Entonces cada uno de los tres estanques circundantes
redistribuye la mitad de esa afluencia, i.e., una vez el

25 flujo nominal de la ZCI, hacia sus estanques contraparte en
el módulo de 250kW; no se necesitan de tuberías adicionales
para esta distribución "1x" ya que los módulos ESSG de 250kW
de GEM están equipados para permitir el retiro del flujo de
la ZCI desde un estanque y el retorno del mismo hacia la

30 contraparte (e.g. versus la recirculación del mismo estanque,

5 que es la práctica común). Igualmente, el estanque bajo
reparación bombea su flujo de la ZCI hacia su contraparte.
Este esquema de transferencia MEC ZCI permite la
redistribución de la ZCI de un estanque bajo reparación hacia
siete ZCIs calientes de los estanques circundantes,
10 preservando por tanto la mayor parte de la energía térmica de
la ZCI del estanque bajo reparación. La ZCS del estanque bajo
reparación es, de manera similar, igualmente redistribuida
hacia las ZCSs de los estanques circundantes, pero a
aproximadamente 1/3 de la tasa de circulación de la ZCI dado
15 que hay menos volumen a transferir. Para un estanque ESSG
típico de 6,25 acres (área de fondo plano, 50 acres para una
carga base en MW) y tasa de circulación de ZCI de 1000 gpm
(e.g. para la unidad PureCycle de Pratt & Whitney de 250kW
usando refrigerante R134a), la transferencia "7x" requeriría
20 aproximadamente 26 horas para transferir 33.1 acre-pies de la
ZCI del estanque. Al mismo tiempo la ZCS es transferida de
forma similar, dejando sola en el estanque la ZNC a renovar.
Tal esquema de transferencia ZCI-ZCS requiere aproximadamente
10 pulgadas de francobordo disponible temporalmente en los
25 siete estanques circundantes, bien dentro del francobordo ya
incorporado del arreglo (ver Figura 5). Los gráficos del lado
derecho de la Figura 6 muestran la redistribución del esquema
para un estanque-final (gráfico superior) y para un estanque-
esquina (gráfico inferior) dentro del arreglo ESSG. Si el
30 tamaño del arreglo fuera menor que 1MW de carga base (ocho

5 estanques), entonces el francobordo adicional sería requerido en el diseño de arreglo de estanques para acomodar el esquema de transferencia del MEC (e.g., para la misma insolación que requiere 50 acres de colector-estanque de fondo plano para una carga base de ESSG en MW), un diseño de dos estanques
10 (i.e., un solo módulo GEM de 250MW) requeriría un francobordo temporal de 5,5 pulgadas adicionales.

Una vez la ZNC a renovar es el único material remanente en el estanque bajo reparación éste se habilita a ser reconstruido in-situ. Un método para hacer esto es la
15 utilización de evaporadores mecánicos para concentrar la salmuera remanente hacia la casi-saturación. Usando evaporadores típicos¹ en un ambiente de humedad nominal, se requerirán de 15 unidades evaporadoras para concentrar la ZNC en cinco días (aproximadamente 0,4 acres de área de
20 evaporación por unidad). Con el fluido remanente en la salmuera concentrada del estanque bajo reparación, la ZNC puede entonces ser reconstruida mediante la inyección tipo tomografía de agua dulce (e.g. tal como se discute en la literatura²), u otro fluido salino siendo usado para la ZCS
25 en el área operacional (e.g., la descarga de salobre desde unas instalaciones de desalinización). El volumen de inyección tipo tomografía para el caso nominal siendo aquí

¹ Por ejemplo, utilizando un SMI 420F (boquilla de spray infringiendo en un impulsor giratorio) evaporador mecánico.

5 considerado es de aproximadamente 14,6 acre-pies requiriendo
aproximadamente 1,65 días para establecer el gradiente (a una
tasa de inyección tipo tomografía nominal de un total de 2000
gpm). La ZCI caliente sería entonces recuperada de los
estanques circundantes (i.e revertir las flechas/equipos de
10 flujo en la Figura 6), al igual que la ZCS, renovando
entonces el gradiente del ESSG. Mejoras al MEC, e.g., a ser
determinadas en prácticas ESSG tempranas de GEM, incluyen la
evaporación de la ZNC a menos-que la saturación completa de
tal manera que cuando contacta la ZCI caliente en el
15 relleno, la frontera superior de la ZCI "asienta" la
interfaz entre las dos capas por medio de la mezcla
localizada estimulada por la gran diferencia en temperatura y
momento del fluido inyectado.

Admitiendo el tiempo de montaje³, la reconstrucción
20 entera para un solo estanque tomaría aproximadamente 10 días
(2,2 días de drenado/relleno, 5 días concentrando, 1,6 días
de inyección tipo tomografía, 1,2 días de montaje y
desmontaje). Paralelamente a la potencia requerida para la
evaporación y la transferencia de fluido, el MEC de GEM
25 resulta en un parasítico del ~1.1%, considerado como muy
factible desde un punto de vista de la comercialización de
ESSGs.

² *Advancements in Salinity Gradient Solar Pond Technology Based on 16 Years of Operational Experience*, Huanmin Lu, Andrew H. P. Swift, Herbert D. Hein, Jr., John C. Walton; J. Solar Energy Eng., v.126, p. 759-767, May 2004

5 La **Figura 1** muestra el funcionamiento básico de un
Estanque Solar de Salinidad Gradiente (ESSG). Un ESSG es un
estanque poco profundo y de salinidad gradiente que permite
la recolección y almacenamiento de energía solar térmica,
como se nota en la Figura. En el ESSG, la energía solar es
10 absorbida por el fondo del estanque que a su vez calienta el
fluido saturado en sal adyacente (la "zona convectiva
inferior", o ZCI, en la Figura 1). Como la ZCI es más pesada
que las capas encima de la misma, dada su salinidad superior,
el fluido calentado no puede subir en el estanque y
15 enfriarse, como en un estanque normal, sino que en cambio
permanece en el fondo, calentándose más a medida que almacena
más energía térmica solar. Con el tiempo, típicamente varios
meses desde la construcción inicial, a medida que la ZCI
almacena más y más energía solar térmica, la temperatura de
20 la salmuera se acercará a la temperatura de ebullición. Esta
energía solar térmica recolectada y almacenada puede ser
retirada (salmuera caliente bombeada) como calor de proceso
que puede ser usado para generar electricidad al usar una
máquina de calor convencional de baja temperatura disponible
25 en el mercado. Actuando a manera de batería solar térmica a
gran escala, el ESSG puede recolectar y almacenar calor, y
distribuir potencia a una tasa promedio y uniforme (carga
base), o puede distribuir potencia de acuerdo con las

³ Equipo a ser diseñado, e.g., unidades de bombas y mangueras de transferencia, difusores, inyectores tipo tomografía, equipo de manipulación, etc.

5 necesidades (en demanda), proporcionando control de
distribución en la salida de potencia en lugar de estar
forzado a producir potencia solamente cuando el viento sopla
o el sol brilla, haciendo que los sistemas ESSG sean muchas
veces más efectivos que renovables intermitentes.

10 Las **Figuras 2A-2C** representan el módulo ESSG comercial
de 250kW de Good Earth Mechanics (GEM), el cual usa dos
unidades de estanque para cada módulo. Los estanques son
embalses con diques contra hoyos excavados, en donde la
tierra del centro de los estanques se usa para formar los
15 diques. Los sistemas ESSG de GEM son expandibles de manera
modular: El sitio del sistema de potencia tipo ESSG de GEM
puede ser tan reducido como para 250kW, o ser aumentado hasta
los cientos de MWs, con la simple adición de más módulos de
ESSG. Un corte del sistema ESSG de GEM en la figura muestra
20 cómo un motor térmico de baja temperatura que usa el Ciclo
Orgánico de Rankine (ORC por sus siglas en inglés), y que se
puede encontrar típicamente en el mercado, hace circular
tanto la salmuera caliente del estanque como el agua
superficial fresca. La salmuera caliente es la fuente térmica
25 y el agua fresca funciona como un sumidero de calor ORC; es
la diferencia de temperatura entre el fondo y la superficie
superior del sistema ESSG la que hace funcionar el motor
térmico.

5 La **Figura 3** muestra el método usado convencionalmente para controlar el gradiente en ESSG, denominado el "Método de Lavado de Superficie". En el Método de Lavado de Superficie se le permite a la sal difundirse hacia arriba hacia la capa superficial. A medida que la capa de la superficie se
10 saliniza, es reemplazada con agua dulce, o "lavada". El agua superficial desplazada es evaporada para formar salmuera de sal concentrada en un estanque de evaporación separado y es luego retornada al fondo del ESSG. Este método, si bien factible para la demostración del trabajo en ESSG y de las
15 prácticas típicas en el mantenimiento del gradiente hasta hoy en día, no es práctico para la comercialización de ESSGs a gran escala debido a los requerimientos de terreno adicional y las más elevadas pérdidas en calor y agua requeridas cuando se practica el método. El Método del Estanque Circulante es
20 superior en tanto que minimiza las pérdidas de agua y calor, el terreno requerido, y los costos cuando se compara con el Método de Lavado de Superficie.

 La **Figura 4** representa la operación básica de un Dispositivo Estanque en Precipitación genérico en operación
25 con un sistema ESSG para mantener el gradiente de salinidad. Dada la estratificación de la salinidad en el ESSG la difusión hacia arriba de la sal se da como consecuencia natural. Controlar el gradiente de salinidad en sistemas ESSG es vital para su operación confiable y eficiente. Un método

5 propuesto para el control del gradiente de salinidad es el
Método del Estanque en Precipitación representado en la
figura. Un "Dispositivo Estanque de Precipitación" mostrado
en la figura es dispuesto con el objetivo de mantener
continuamente en su lugar el gradiente de salinidad por medio
10 de la extracción de agua de la salmuera saturada en el fondo
del estanque y moviéndola hacia el área de más arriba del
estanque; esta acción causa que las capas del estanque sean
continuamente recirculadas hacia abajo, o que "caigan". Esta
tasa de caída, o velocidad hacia abajo, puede ser controlada
15 para que iguale la tasa de difusión hacia arriba de la sal en
el ESSG, manteniendo así el gradiente en su lugar. GEM ha
desvelado previamente un sistema y práctica para la
aplicación del Método del Estanque en Precipitación.

La **Figura 5** es un corte de un sistema ESSG de GEM,
20 mostrando las dimensiones típicas para las tres capas del
estanque: la Zona Convectiva Superior (zona de encima desde
agua dulce homogénea a agua de baja salinidad); la Capa No
Convectiva (zona de sal, temperatura, y densidad
estratificadas que actúa como barrera para el transporte
25 masivo de calor dentro del sistema ESSG); y la Zona
Convectiva Inferior (zona homogénea saturada en sal que
recolecta y almacena la energía solar térmica). La figura
muestra también el francobordo disponible para un típico
arreglo de sistemas ESSG de GEM, que es usado como un almacén

5 compartido temporal cuando se reconstruyen los gradientes de los estanques individuales del arreglo ESSG de GEM.

Las **Figuras 6A-6C** muestran el esquema imaginario para la transferencia de la ZCI caliente desde un estanque individual en el arreglo de ESSGs de GEM hacia las ZCIs de los siete
10 estanques circundantes. El esquema permite la retención de la mayor parte del calor en la ZCI del estanque bajo reparación mientras se minimiza el trabajo de tierra dentro del arreglo (e.g., un típico arreglo ESSG de GEM utilizará temporalmente menos de 10 pulgadas del francobordo disponible en la Figura
15 5 para almacenar la ZCS y la ZCI de un estanque sujeto a renovación de la ZNC).

La presente invención, un Método del Estanque Circulante, provee medios eficientes por los cuales practicar mantenimiento del gradiente para un sistema de potencia de
20 ESSGs. El Método del Estanque Circulante es más eficiente que los métodos practicados en el pasado para mantenimiento del gradiente en ESSGs, e.g., el Método de Lavado de Superficie, y esa eficiencia mejorada es esencial para la utilización comercial de sistemas de potencia de ESSGs. La
25 comercialización de la tecnología de ESSGs es vital para la industria de energías renovables, particularmente en tanto que las energías renovables intermitentes están dando lugar a problemas de administración y a costos incrementados. Los sistemas de ESSGs recolectan y almacenan calor, y son capaces

5 de distribuir potencia a una tasa promedio y uniforme (carga-
base), o puede distribuir potencia de acuerdo con las
necesidades (en demanda), proporcionando control de
distribución en la salida de potencia en lugar de estar
forzado a producir potencia solamente cuando el viento sopla
10 o el sol brilla. Esta característica, junto con otros
beneficios sinérgicos que GEM ha desarrollado (e.g.,
sumideros de sal a gran escala para auxilio al ambiente),
hacen que los sistemas de ESSGs sean mucho más efectivos que
las energías renovables intermitentes. El equipo de GEM se
15 encuentra actualmente comprometido en el lanzamiento
comercial de su tecnología de ESSG y la invención aquí
desvelada es crucial para dicho lanzamiento comercial. El
Método del Estanque Circulante, de manera paralela al Sistema
Estanque en Precipitación previamente desvelado y de la
20 práctica del Método del Estanque en Precipitación, le brindan
a GEM un control firme del gradiente de salinidad para las
prácticas comerciales de las tecnologías de ESSGs.

En conclusión, se presenta aquí un sistema y método para
el mantenimiento del gradiente de salinidad en un Estanque
25 Solar de Salinidad Gradiente (ESSG). La invención es
ilustrada a manera de ejemplo en los diagramas de flujo y en
las figuras, y durante toda la descripción escrita. Debería
ser entendido que numerosas variaciones son posibles, sin

5 apartarse del concepto inventivo. Tales variaciones se
contemplan como parte de la presente invención.

Resumen

10 Un estanque solar de salinidad gradiente (ESSG) tiene
agua salada saturada en la zona del fondo del estanque y agua
casi dulce en la zona de encima, con una zona gradiente entre
la zona del fondo y la zona de encima. Debido a esta
estratificación en la salinidad, la difusión de la sal hacia
15 arriba es una consecuencia natural en los ESSGs. Controlar el
gradiente de salinidad en sistemas ESSG es vital para su
operación confiable. El método para controlar el gradiente de
salinidad desvelado en esta aplicación, acuñado "Método del
Estanque Circulante" por los autores, drena rápidamente las
20 zonas no-gradiente del estanque, renueva el gradiente, y
restaura las zonas no-gradiente del sistema ESSG, de tal
manera que se minimizan el uso de terreno, de agua y las
pérdidas de calor. Se le permite a la sal en el estanque
difundirse hacia arriba con el tiempo y, de acuerdo con las
25 necesidades de la restauración del gradiente, se usa el
Método del Estanque Circulante para reconstruir completamente
el gradiente y las zonas del ESSG.