



Tratamiento de aguas residuales

Fundamentos

El tratamiento de aguas consiste en mejorar su calidad a través de una serie de procesos que pueden ser convencionales, no convencionales o mediante sistemas basados en la naturaleza. Con el agua tratada se mejora la calidad de vida de las personas y suele ir asociado al desarrollo social y económico.

Las aguas tratadas no deben devolverse al acuífero como ocurre con las aguas de escorrentías en las calles secas, las aguas tratadas se pueden inyectar a los ríos cercanos, regar con ellas árboles de madera u ornamentales, pero no se debe regar con ellas nada que vaya a consumirse sin haberle hecho analíticas y asegurarse de que el agua cumpla con la legislación correspondiente.

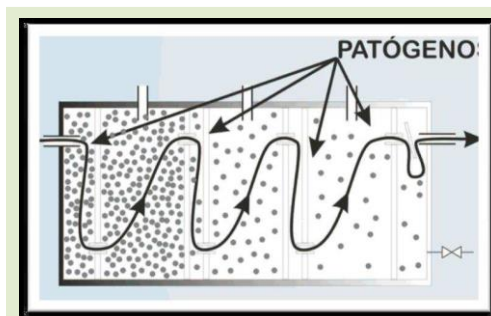
Las tecnologías que a continuación se desarrollan tienen fundamentos diferentes pero con el mismo objetivo, tratar las aguas y mejorar su calidad. En el caso de la primera tecnología descrita, la fosa anaerobia logra este objetivo utilizando los principios de sedimentación de residuos y degradación de la materia orgánica. Mientras que el canal de plantas mejora la calidad del agua aprovechando los beneficios de las plantas oxigenadoras como la absorción de CO₂, nitrógeno y fósforo, la regulación de la cantidad de luz que llega al agua y, por supuesto, la oxigenación del agua mediante la fotosíntesis. Por último, la escalera de oxigenación, como su nombre indica, consiste en oxigenar el agua mediante el choque, sin requerir grandes gastos energéticos ni económicos.

1. Fosa anaerobia de alta velocidad

Una fosa anaerobia de alta velocidad o fosa séptica es un sistema para el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas, donde se busca reducir entre un 50 y un 60% la materia orgánica (contaminación) de un agua residual, además de prácticamente eliminar los microorganismos patógenos que contiene. La fosa realiza dicho tratamiento de forma sencilla y barata, pensada específicamente para zonas rurales o domicilios aislados, donde se usan letrinas de hoyo, como es el caso de Kimpese.

La mejora de la calidad de los vertidos domésticos se realiza en base a fenómenos de sedimentación y degradación biológica anaerobia de la materia orgánica. Es decir, se promueve una separación de líquidos y sólidos y tras esto las bacterias anaerobias actúan descomponiendo la materia orgánica de las aguas residuales en sus componentes inorgánicos y convirtiendo parte de los sólidos en material soluble en agua. Esta descomposición es importante pues reduce casi en su totalidad la cantidad de materia orgánica y la demanda biológica de oxígeno que se precisa para este proceso, así el agua puede devolverse a la naturaleza o pasar a la siguiente fase de tratamiento menos contaminada. Ambos fenómenos se provocan gracias a la geometría diseñada, con la que se fuerza un flujo constante recorriendo todo el volumen útil.

El flujo continuo y forzado a través del camino que delimitan las paredes de la fosa amplifica el rendimiento de eliminación de patógenos debido a la separación total de los flujos de entrada y salida y a la agitación constante entre agua y fangos bacterianos, favoreciendo el contacto para la reacción biológica.



Fosa de alta velocidad, recorrido hidráulico

La forma del diseño en zigzag permite que el agua entre por debajo y salga por encima de cada módulo. Gracias a esto los sólidos contenidos quedarán al fondo por sedimentación, formando los cienos o fango negro de materia orgánica anaerobia, y en la superficie flotarán las grasas y espumas. Además, todo esto se realiza sin necesidad de recursos energéticos ya que la fuerza de entrada del fluido es la fuerza de salida, se aprovecha la energía hidráulica del agua de entrada, que al acceder por debajo la siguiente cámara agita y remueve el lecho de fangos sin coste energético. Los gases producidos por la digestión de la materia orgánica se extraen tanto por la entrada como por la salida de la fosa, o por unos tubos que se ponen en la parte superior de la fosa.

Por otro lado, para su correcto funcionamiento, es de vital importancia colocar una reja de saneamiento, explicada en el tema de saneamiento, en el flujo de entrada a la fosa, de forma que se asegure que ningún sólido de grandes dimensiones entre y la obstruya.

El funcionamiento de la fosa es más efectivo cuanto más tiempo estén las aguas residuales en el proceso, por lo que se recomienda construirla con 2 o 3 compartimentos. El modelo propuesto de dos cámaras es más fácil de construir, mientras que el de tres cámaras incrementa la calidad del agua haciéndola apta para el riego de plantas no comestibles.

El rendimiento a temperatura ambiente es excelente, siendo aún mejor en zonas de clima tropical. Los resultados son comparables a los que obtienen los reactores de alta velocidad, pero con costes de producción mucho menores. Tiene la capacidad de reducir a la mitad la materia orgánica que transporta el agua, de una forma ocho veces más rápida que las fosas convencionales y un tamaño hasta 4 veces menor. La separación efectiva de las cámaras, propicia la separación del influente y el efluente en la fosa, con lo que se mejora radicalmente la eliminación de patógenos.

Entre los factores de uso, hay que tener muy en cuenta que cuando se llena la fosa deben llenarse todas las cámaras a la vez. Periódicamente, hay que limpiar los fondos entre los diques, sobre todo entre los del mismo módulo, los próximos. Esto es importante para evitar atascos, puede hacerse con un palo al que al final se le engancha algo que recoja los sólidos, como un cazo. Limpiar la salida de la última cámara para evitar atascos y asegurar que el agua sale de la fosa por toda la anchura disponible es clave.

2. Canal de plantas

Los canales de plantas, conocidos también como canales depuradores de plantas o sistemas de flujo libre, tienen como objetivo aumentar considerablemente la calidad del agua para su posterior uso.

El agua residual se vehicula a través de un canal excavado en el que se instalan plantas oxigenadoras que están soportadas por piedras medianas para mantener su verticalidad y aprovechar las funciones de las mismas. Se puede plantar en tierra, directamente sujetadas sobre roca o mitad-mitad, según las condiciones del entorno. Hay que tener en cuenta que cuantas más plantas se coloquen más mejora la calidad del agua, si el agua que va a circular está muy contaminada harán falta muchas plantas. Es importante asegurar la verticalidad de las plantas, sino no pueden realizar su función e incluso llegar a contaminar el agua al pudrirse, generando residuos orgánicos.

El canal de plantas tiene por objetivo facilitar la absorción de la contaminación de las aguas tratadas previamente mediante varios procesos:

1. Bloqueo de la penetración de la luz solar para inhibir la proliferación de algas. Esto es necesario por el problema de exceso de materia orgánica que generan las algas cuando mueren.
2. Oxigenación del agua. A través de la fotosíntesis las plantas proporcionan degradación aerobia de la materia orgánica contaminante del agua.
3. Captación de nitrógeno y fósforo del agua. Gracias a las necesidades que las plantas tienen de estos elementos para su crecimiento y floración, descontaminan el agua.
4. Absorción de CO₂. Son sumideros de carbono.

Se puede destacar que la depuración de la materia orgánica es realizada por el metabolismo de los microorganismos de las raíces (bacterias, levaduras, hongos y protozoarios). El tratamiento de las aguas residuales, en general, se realiza mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas por medio de una triple acción: física, química y biológica

Los canales de plantas se construyen siempre más largos que anchos, por ejemplo 1.5 x 5 metros, si el ancho no es suficiente para tratar el agua que sale se realizan más canales paralelos, nunca uno más ancho pues afecta al flujo del agua y da más posibilidades a que se estanque. Éstos suelen tener profundidades inferiores a 60 cm, superficie suficiente para la formación de películas bacterianas. De esta manera se facilita la filtración y adsorción de los contaminantes en aguas residuales, permitiendo la transformación de oxígeno a la columna de agua.

El fondo debe estar compuesto con pocas piedras para la sujeción de las raíces y estar impermeabilizado, si es posible. Se prioriza la colocación de especies vegetales autóctonas y procedentes de lagos cercanos al canal. Generalmente se usan plantas de ribera. A la hora de elegir plantas, se recomienda mirar qué tipos de plantas se encuentran en las partes del río o estanque más próximo en la zona de menor calidad. Revisar el tema de plantas para más información.

Es necesario realizar un mantenimiento de poda periódico, cortando la vegetación antes de que comience su descomposición, para evitar que los restos de plantas se conviertan en contaminación. Además, se deben reponer las plantas si se estropean. Si se provoca superpoblación

de la planta, de eneas, por ejemplo, se le puede buscar un uso como el realizar cestos o sillas artesanales con la superpoblación. De esta forma, se fomenta a la par el desarrollo social.

La gran ventaja del sistema es su facilidad de construcción porque es muy intuitivo y adaptable a todo tipo de situaciones. Esta tecnología se ha podido implementar por la comunidad en Kimpese de forma autónoma y ha mejorado la salud de los comunitarios con su puesta en marcha.

Entre los factores de uso, hay que controlar a lo largo del tiempo el crecimiento y expansión de las plantas de ribera, es decir, cuando estas plantas ocupen un mayor espacio en el canal se tendrán que sacar con las raíces tantas como sean necesarias para respetar las proporciones de plantas indicadas inicialmente. Hay que cuidar que las plantas flotantes, que irán desplazándose con la corriente del agua, vuelvan a estar por todo el canal, para ello se recogen los excesos del final y se llevan al inicio del canal. Además, hay que limpiar fangos de fondo a lo largo del canal para que no haya obstrucciones al paso del agua.

3. Escalera de oxigenación

Hay múltiples formas de oxigenar el agua, pero la mayoría de ellas requieren un importante gasto de energía. Por eso, un sistema de oxigenación que únicamente usa la fuerza de la gravedad para introducir oxígeno en el agua y que tiene relativa facilidad de construcción es muy interesante desde el punto de vista de ahorro energético, económico y de mantenimiento, por lo que puede ser una herramienta muy útil para mejorar la calidad del agua.

Se trata de depurar el agua residual aprovechando el rendimiento de la escalera por la que el agua contaminada pasa gracias a su energía potencial, la diferencia de altura que existe, para oxigenarla en el choque. Esto aumenta el oxígeno disuelto en cada escalón y el caudal de agua a lo largo de las mismas.

El Sistema Escalonado de Aireación es un proceso aerobio de tratamiento de aguas residuales urbanas. Consta de una estructura escalonada, un lecho rocoso como soporte de biomasa, una aireación por gravedad y una circulación por debajo del lecho de piedras.

Gracias a esta oxigenación del agua residual se desarrolla la biomasa bacteriana aerobia que degrada la materia orgánica. Así se va tratando el agua que circula con la consiguiente disminución de demanda química o biológica de oxígeno y una mejora importante de la calidad del agua. Por lo que las escaleras de oxigenación son herramientas potentes allí donde hay pendiente o altura suficiente para dar lugar a la transferencia de energía potencial necesaria para el proceso.

Los mecanismos de depuración principales son:

- Sedimentación.
- Degradación biológica de la materia orgánica.
- Aireación por gravedad.
- Circulación por efecto de la gravedad.
- Oxigenación.

Hay parámetros que influyen y hay que tener en cuenta para desarrollar esta tecnología:

- Caudal de agua a tratar.

- Oxígeno disuelto inicial en el agua. Cuanto menor sea este valor más eficiente es la escalera de oxigenación.
- Temperatura, a menor temperatura más oxígeno entra en la masa del agua, por ello es aconsejable sombrear la escalera lo máximo posible.
- Altura del salto.
- Profundidad del agua receptora.
- Forma del rebosadero.

Entre los factores de uso, hay que vigilar la caída del agua, es importante que el agua no choreando por la pared sin ningún tipo de presión porque debe llegar con fuerza al siguiente escalón para que se produzca la oxigenación. También hay que procurar que el agua llegue con la menos cantidad de solidos posibles para evitar atascos y desbordamientos en la escalera.

Esta tecnología es muy útil en las zonas con poco espacio para tuberías y saneamiento y con mucha pendiente, es decir, es muy utilizable en zonas de cerro como las favelas que no tienen calles ni espacio que permitan hacer un saneamiento, además, como son zonas de mucha pendiente tienen las características idóneas. Otro punto a favor es que sobre esta tecnología puede ubicarse una escalera para el tránsito de personas, no quita espacio de la circulación.

Diseño

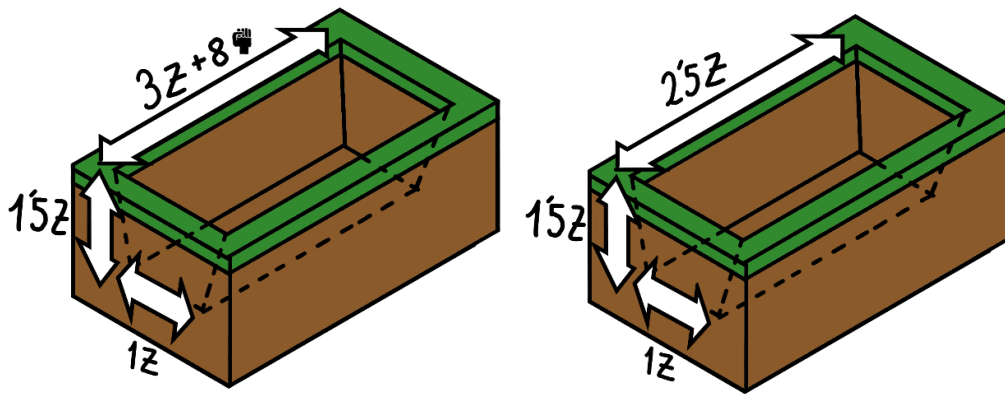
Previo a cada tratamiento, se propone colocar una reja de saneamiento, explicada en el tema de saneamiento, para garantizar que sólidos de gran tamaño no puedan pasar y obstruir la tecnología.

1. Fosa anaerobia de alta velocidad

- Dimensiones de la zanja: va a depender de las necesidades y uso de la fosa, como medidas orientativas se muestra la siguiente tabla. Dependiendo del número de personas, primera columna, y de la cantidad de agua, primera fila, se aconsejan diferentes medidas. Se aconseja tener en cuenta que por razones puntuales o por cambios de la situación es mejor hacer una fosa un poco mayor al tamaño requerido para hacer frente a esa demanda sin tener q reacondicionar o rehacer la fosa, que el tamaño sea mayor no supone ningún problema. Todas las medidas están en metros o zancadas y las dimensiones son largo x ancho x alto.

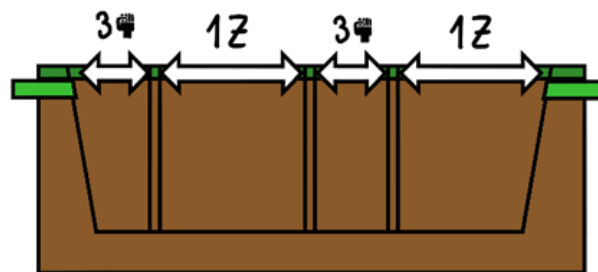
Nº de personas	Más de 100 litros por habitante y día	Unos 100 litros por habitante y día	Menos de 100 litros por habitante y día
10	1 x 1 x 1	1 x 1 x 1	1 x 1 x 1
20	1 x 1 x 1.5	1 x 1 x 1	1 x 1 x 1
40	2 x 1 x 1.5	1.5 x 1 x 1.5	1 x 1 x 1.5
80	3 x 1 x 3	2.5 x 1 x 2	2 x 1 x 1.5

En este apartado se proponen las medidas 2,5 x 1 x 1,5 metros como largo, ancho y alto, 2,5 x 1 x 1,5 zancadas, para una fosa de dos cámaras, y 3,8 x 1 x 1,5 metros, 3,8 x 1 x 1,5 zancadas, para una fosa de 3 cámaras

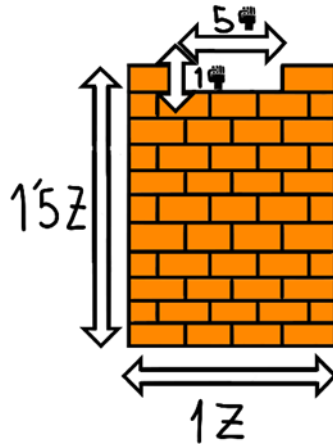


Independientemente del tamaño de la fosa, debe tener como mínimo 1 metro de profundidad, para separar adecuadamente cienos y espumas. Añadiendo la zona libre superior, lleva a que la profundidad mínima está en torno a 1,40 metros, una zancada y media.

- b. Excavación: excavar la zanja con las medidas adecuadas. Además, con un talud, es decir, una pequeña inclinación para asegurar la estabilidad de la zanja. Esta inclinación puede hacerse con ayuda del inclinómetro, puede hacerse siguiendo los pasos explicados en el tema de herramientas.
 - c. Impermeabilizar: sobre la base de la zanja se aplica el impermeabilizante que se encuentra explicada en el tema de herramientas. Si el suelo es de arcilla, este paso no es necesario.
 - d. Tabiques o tajaderas: las tajaderas son planchas dispuestas transversalmente al paso del agua, con una apertura por donde deja circular el agua. Con ella se realiza el circuito en zigzag, es el fundamento de la fosa anaerobia.
- Realizar guías en la fosa: según cómo se vayan a construir los tabiques, precisarán de guías o no. Es decir, si el material que va a usarse necesita refuerzo se hace con estas estructuras. Estas guías deben colocarse donde se van a ubicar los tabiques, es decir, por cada módulo, se realizan a 30 cm de la entrada, 3 puños, y luego a 1 metro, una zancada.

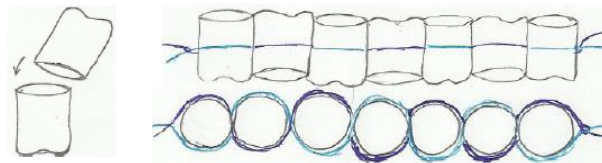


- Construir tabiques o tajaderas: se pueden construir de diversas maneras y materiales, pero cumpliendo los requisitos fundamentales, dimensiones e impermeabilidad. De esta forma serán planchas de dimensiones 1 x 1,5 metros, 1 x 1,5 zancadas. Esta plancha debe tener una apertura de sección rectangular de 48 x 12 cm, 5 x 1 puños, centrada en un lateral de menor longitud.



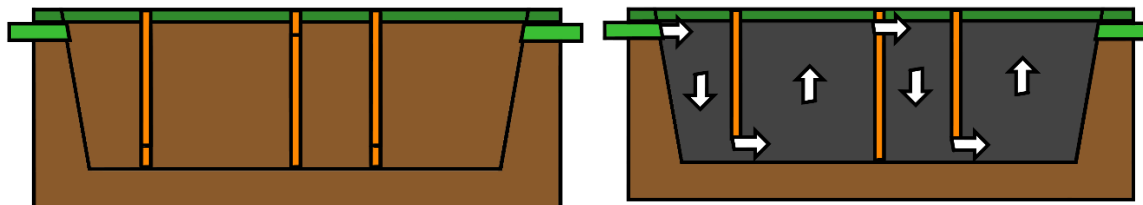
Es necesario construir 3 tajaderas o tabiques para las fosas de dos módulos y 5 para fosas de tres módulos. Entre todas las opciones para construir tabiques, adaptable a todas las zonas, aquí se exponen algunas:

- Una opción es construirlos con ladrillos de adobe, explicado en el tema de herramientas, pero haciéndolos la mitad de gruesos.
- Otra opción es con botellas de plástico rellenas de tierra, apiladas una tras otra, recubiertas de algún material que cubra los huecos, como el cemento u otro tipo de mortero. Para hacer los ladrillos de plástico se necesitan las botellas de plástico, estas se deben cortar por la mitad y se aprovechará la mitad inferior para rellenarla con tierra o elementos similares que haya en el entorno. Para cerrarlos se usa otra mitad inferior encajándola como tapa. Para un metro de ancho se utilizarán unos 7 u 8 de estos ladrillos de plástico dispuestos uno detrás de otro unidos con cuerdas. Estas hileras se colocan una encima de otra hasta llegar a la altura deseada. Hay que recordar que los tabiques deben dejar la sección rectangular en un lateral menor para que fluya el agua. Si es posible el tabique se cubre con algún tipo de mortero para tapar los agujeros por donde se va a colar el agua.



- También puede hacerse uniendo caña de bambú con cuerdas o clavos hasta tener la estructura con las medidas especificadas. Si es posible el tabique se cubre con algún tipo de mortero para tapar los agujeros por donde se va a colar el agua.
- Colocar los tabiques: se colocan entre las guías descritas anteriormente si se realizaron, sino la misma construcción del tabique tendrá que tener en cuenta su colocación. Esta colocación se hace disponiendo el primer tabique a 0,3 m de la entrada, 3 puños, con la apertura hacia abajo, el segundo a 1 metro, 1 zancada, con la apertura hacia arriba, el siguiente a 0,3 m, 3 puños, hacia abajo y de esta forma sucesivamente.

Por lo que el recorrido del agua por el interior de la fosa queda del siguiente modo, la entrada del agua es por la parte superior a la primera cámara y pasa a la segunda por la abertura inferior del primer tabique, a la siguiente cámara pasa por arriba, luego por abajo y así hasta la salida de la última cámara fuera de la fosa por arriba.



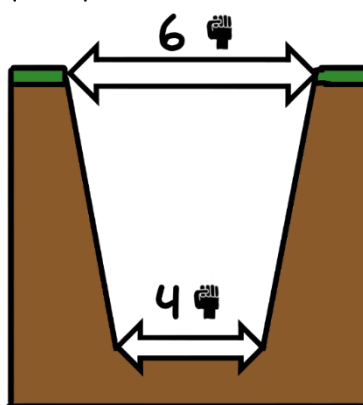
- e. Llenar la fosa: todos los compartimentos deben llenarse a la vez, para evitar que la presión que ejerce el agua sobre los tabiques pueda llegar a dañarlos.
- f. Mantenimiento: cada 2 años se recomienda vaciar y limpiar los lodos y grasas. Con la ayuda de palas se recoge y se transporta al vertedero más cercano.

Nota: las aguas de lluvia no deben entrar a la fosa, por lo que se recomienda hacer una tapa o un techo sobre la fosa.

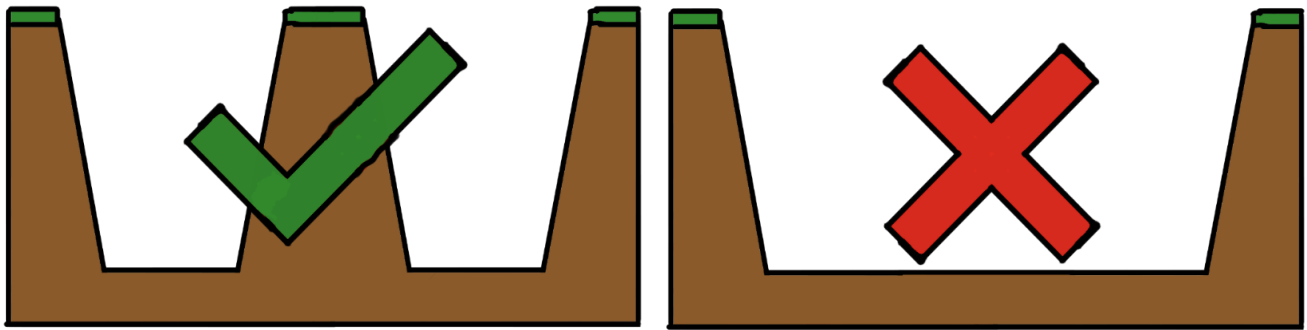
Importante: nunca se debe usar productos químicos, como para quitar olores, ya que pueden atacar a las bacterias que desempeñan el trabajo de descomposición.

2. Canal de plantas

- a. Forma y dimensiones: debe tener una forma trapezoidal, es decir, debe ser más ancha la parte de arriba que la inferior, se excava con pendiente en las paredes laterales. El ancho del canal en la parte superior es de 60 cm, 6 puños, mientras que en la parte inferior unos 40 cm, 4 puños. Mientras que la profundidad del canal es entre 30 y 60 cm, de 3 a 6 puños.

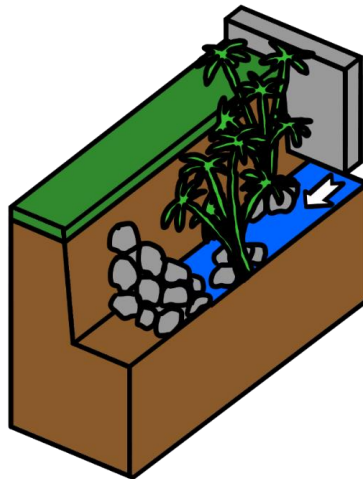


En cuanto a la longitud del canal depende de las necesidades, pero nunca puede ser más ancho que largo, se recomienda una proporción 1.5 x 5 metros, una zancada y media de ancho por 5 zancadas de largo. Si se necesita un canal más ancho por la cantidad de agua a tratar es aconsejable hacer más de un canal en paralelo, nunca ensancharlo.

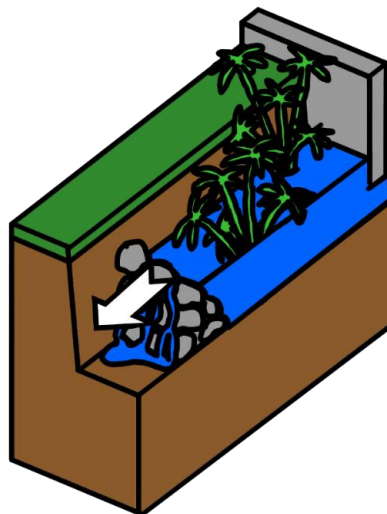


- b. Excavar el canal: usando las medidas establecidas se realiza el canal siguiendo la pendiente, mínimo se necesita un 1%, si la pendiente no existiese, habría que procurarla con el inclinómetro, explicado en el tema de herramientas. Es importante procurar la ausencia de baches, para asegurar la circulación del agua.

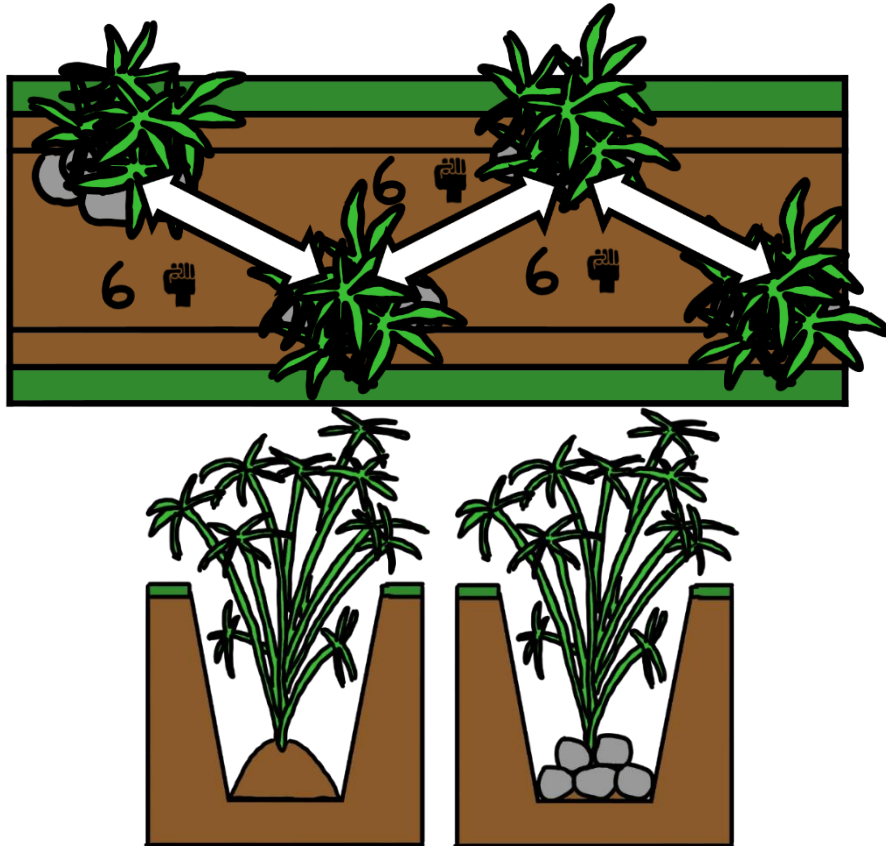
Al diseñar el canal, hay que tener en cuenta, si es posible, que la entrada de agua al canal se aconseja hacerla desde la parte inferior de la entrada.



Mientras que para finalizar el canal se recomienda unirlo con una escollera de piedras, saliendo el agua por la parte superior.



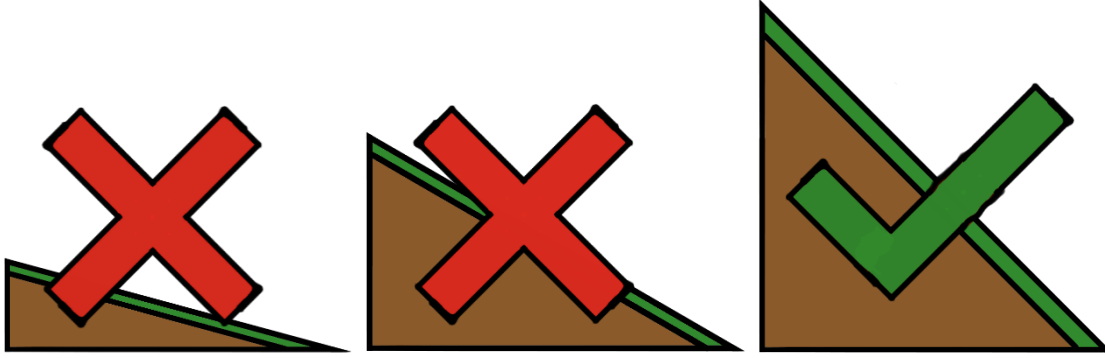
- c. Plantar: las plantas seleccionadas dependerán de la zona donde se realice la tecnología, normalmente se trabaja con plantas de ribera para este fin por su resistencia. Más información en el tema de plantas. Las distintas plantas seleccionadas se van alternando secuencialmente, se colocan con separación lateral y longitudinal, unos 60 cm, 6 puños, para facilitar su proliferación. Se pueden plantar en tierra y sujetas con piedras o directamente con piedras, pero siempre manteniendo la verticalidad. Si está muy contaminada el agua hay que disminuir la distancia entre plantas y poner más.



- d. Mantenimiento: cuando sea necesario se cortan los excesos de crecimiento de las plantas para evitar atascos o que si se pudre en el canal aumente la cantidad de materia orgánica. Con los excesos de algunas plantas, como las eneas, pueden usarse para otros usos como cestas o sillas artesanales.

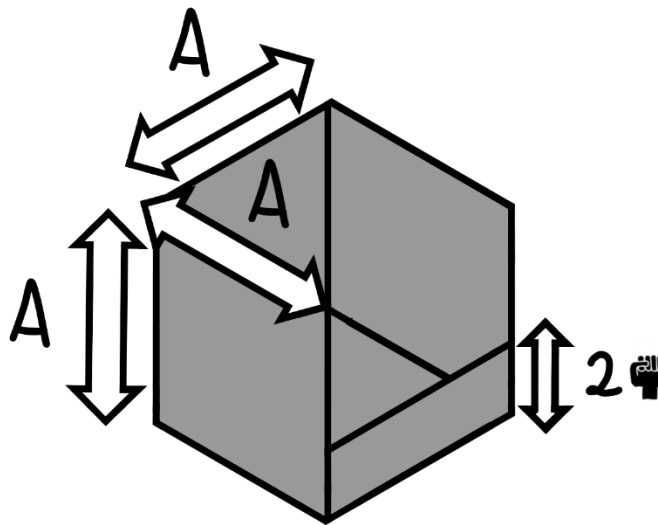
3. Escalera de oxigenación

- a. Elección del lugar: si hay unas escaleras ya construidas se pueden aprovechar dirigiendo las aguas residuales hacia ella mediante las tecnologías explicadas en el tema de saneamiento. Si las escaleras van a construirse se busca un sitio con la mayor pendiente posible, para aprovechar el potencial conseguido por la altura. También es favorable si la zona es de sombra, ya que las bajas temperaturas favorecen el rendimiento del tratamiento, es decir, la absorción de oxígeno en el agua.



Es muy recomendable que antes de enviar las aguas residuales a la escalera se instalen las rejillas explicadas en el tema de saneamiento, y una fosa anaerobia de alta velocidad, explicada en este tema, para asegurar el correcto funcionamiento y evitar el atasco en la escalera.

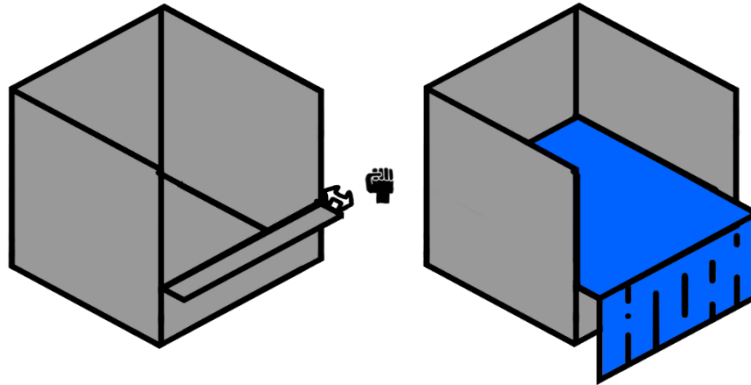
- b. Construir las escaleras: se selecciona un material impermeable, accesible y sin coste del entorno cercano, como cemento, madera, alguno arcilloso, etc. Hay que realizar tantos cajones como escalones se quieran, cuantos más mejor. Se propone una altura, profundidad y anchura de 50 x 50 x 50 cm, 1 x 1 x 1 antebrazos, para cada escalón. Cuatro de las caras del cajón son de 50 x 50 cm, 1 x 1 antebrazos. En otra de las caras, la frontal, se pone una tajadera o dique, de dimensiones 20 x 50 cm, 2 puños x 1 antebrazo, para retener el agua. La sexta cara, la superior, se deja descubierta.



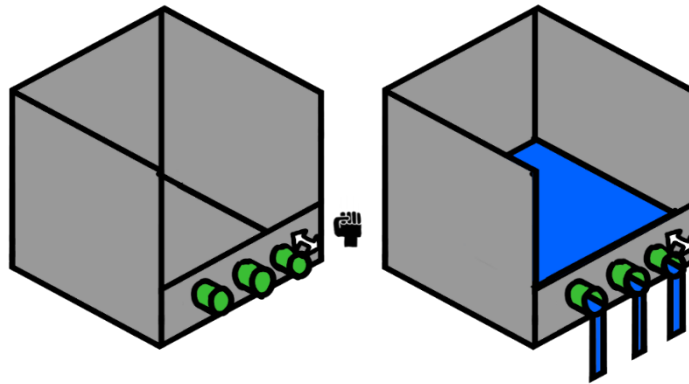
Además, se recomienda aplicar una pendiente en la superficie horizontal, la base, de la escalera hacia el exterior, hacía el dique, del 1% como mínimo, esto puede hacerse con ayuda del inclinómetro artesanal, tema de herramientas. Esta inclinación ayudará a la prevención de algas en el agua.

- c. Construcción del rebosadero: si el agua al salir del cajón fluye por la pared vertical el potencial que tiene al caer es mucho menor, para impedirlo se ponen los rebosaderos. Dependiendo de los materiales accesibles se proponen tres formas de hacer los rebosaderos:
- Ladrillo horizontal: se coloca una cubierta de cualquier material de la zona, resistente a la presión que puedan ejercer el agua y las rocas, como continuación de la tajadera o dique. Se

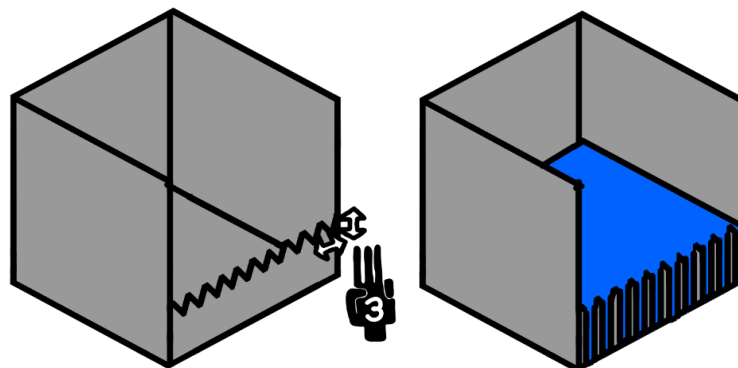
pone una superficie horizontal para que caiga el agua hacia el siguiente escalón sin fluir por la pared. Esta cubierta tiene unas dimensiones de unos 8 x 50 cm, un puño por un antebrazo.



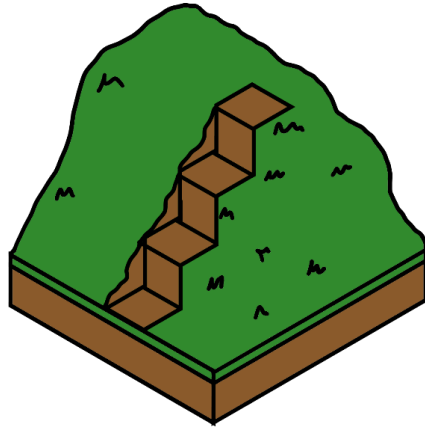
- Tuberías de salida: en la parte superior del tabique o tajadera se hacen 3 perforaciones, separadas equitativamente a lo ancho, del tamaño de las tuberías disponibles, pueden ser de cualquier material disponible, como el bambú vaciado. Se colocan las tuberías en las perforaciones y que sobresalgan unos 8 cm, un puño. Estas tuberías requieren un pequeño mantenimiento para asegurar que no se atascan.



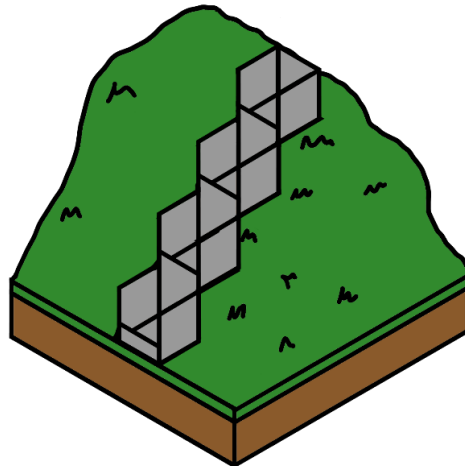
- Forma de vertedero: se realizan cortes transversales sobre la parte superior del tabique o tajadera en forma de zigzag. Los cortes se hacen cada 5 cm, 3 dedos, y con una longitud de 5 cm, 3 dedos. Siendo 50 cm, una zancada, el ancho del tabique y haciendo el zigzag cada 5cm, 3 dedos, quedan unos 10 zigzag aproximadamente. Aunque con este rebosadero el agua va a fluir por la pared la presión va a ser mayor y suficiente gracias al zigzag.



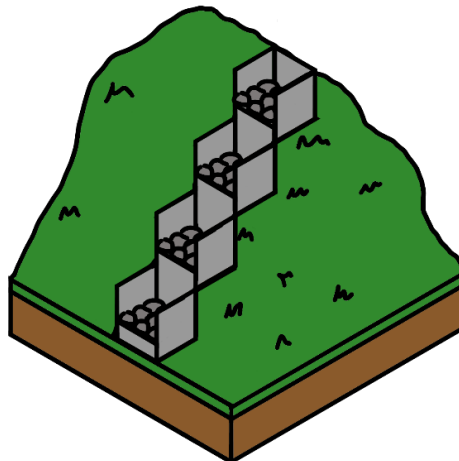
- d. Excavación: para hacer los huecos de los cajones, en el sitio seleccionado se excava una escalera sobre la que se van a poner los cajones. Esta escalera tiene que tener una longitud, una profundidad y una anchura de 50 x 50 x 50 cm, 1 x 1 x 1 zancada, para acoger al cajón.



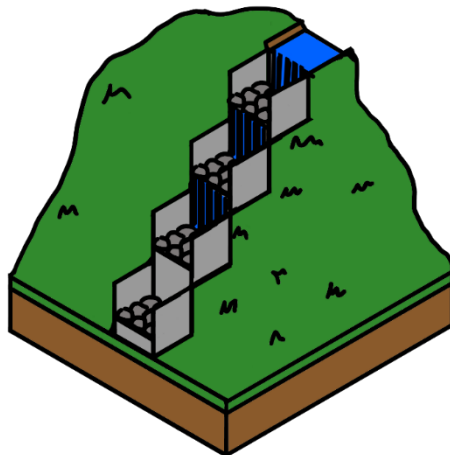
- e. Colocación de los cajones: se colocan los cajones secuencialmente en los huecos anteriormente preparados.



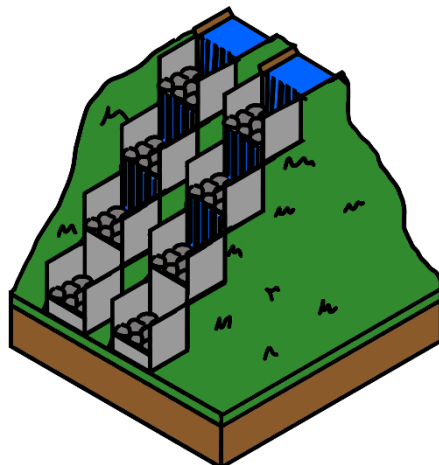
- f. Colocación de las piedras: se rellenan los cajones de piedras de tamaño medio, un puño, hasta una altura de unos 25 cm, dos puños y medio, porque debe sobrepasar la altura del tabique para que el agua no quede expuesta a los mosquitos en ningún caso.



- g. Relleno de agua: la escalera ya está lista para recibir agua, se va llenando desde el primer escalón y se deja que poco a poco se llenen los siguientes. Se aconseja que el agua venga pretratada como se ve en el tema de saneamiento, para mejorar el funcionamiento de la tecnología y sobretodo con la reja para evitar solidos de gran tamaño.



Importante: si se va a trabajar con una gran cantidad de agua, es decir, cuando el agua de salida de la escalera no sale bastante clara y sigue oliendo mal, debe ampliarse la longitud de la escalera o hacerse más escaleras en paralelo. No se deben hacer escalones más grandes.



Opcional: de manera opcional puede instalarse una escalera para el paso de las personas sobre la escalera de oxigenación. Al construir dicha escalera, es importante que haya hueco entre los escalones de circulación de personas y los escalones de la escalera de oxigenación para permitir la circulación del aire, esta es necesaria para la mejora del agua. Por ello, se recomienda, si se puede, dejar unos 20 cm, 2 puños, entre los dos tipos de escalera.



Además, la escalera debe cumplir las exigencias para poder resistir el peso de las personas y los acarrees existentes en las casas de la zona, por eso se recomienda usar materiales resistentes, como la madera, con uniones resistentes, como pueden ser clavos.

También puede darse el caso que la escalera para la circulación de las personas ya este instalada, esta ubicación es totalmente aprovechable. Se excava debajo de la escalera de las personas para instalar la escalera de oxigenación y el mismo espacio ahora cumple dos funciones esenciales.

Ejecución

1. Fosa anaerobia de alta velocidad

La fosa anaerobia de alta velocidad está en construcción en Kimpese en estos momentos, faltan por construir los tabiques que van a 20 cm, uno por cada cámara.



Proceso de construcción de la fosa anaerobia en Kimpese.

Por este motivo se va a mostrar la fosa anaerobia piloto de la planta experimental de Carrión de los Céspedes, España. Al ser una planta piloto está construida en poliéster y en altura, no está a nivel de suelo como debe ser en la realidad. Se expone como ejemplo, pero no como pasos a seguir, para saber los pasos a seguir ver el apartado de diseño.

Es interesante fijarse en la separación entre las tajaderas y la separación entre cámaras.



Fosa anaerobia piloto.

Las siguientes fotografías pertenecen a la fosa experimental situada en el centro educativo provincial de Blanco White, Sevilla, España. Es ellas podemos ver la diferencia de la superficie del agua entre la fase de llenado y la fase de operación, en la que la fosa anaerobia ya está trabajando. En esta última fase se forma una costra superior que facilita el desarrollo de los procesos anaerobios.



A la izquierda la fase de llenado y a la derecha la fase de operación.

2. Canal de plantas

En 2010, en Carrión de los Céspedes, España, se realizó un canal de plantas experimental como experiencia piloto para definir los parámetros de diseño y de implementación que mejoraran la calidad del agua en diferentes situaciones.

Se realizaron tres tramos consecutivos de diez metros de largo, por 0.5 m de profundo y de ancho 0.4 m en el fondo y 0.5 m en superficie.

En el primer tramo se encuentran paragüitas o papiros, *Cyperous alternifolius*, y eneas o totoras, que al ser de gran tamaño ayudan a generar sombra en el canal impidiendo la afloración de algas. Estos paragüitas y las eneas se colocan entre las piedras del canal para que se asienten. Cada cierto tiempo se deben limpiar los restos de ramas secas o rotas para que pueda seguir expandiéndose en el canal y, además, evitar que la materia orgánica se acumule en el canal. Con el paso del tiempo también es necesario mover paragüitas de las zonas más pobladas a las menos pobladas.



Paragüitas en el primer tramo.

Posteriormente se sembró lemna, que es una planta flotante que crece en primavera y tiene menos actividad en invierno. Se ha visto que la lemna se agrupa y se desarrolla mejor en zonas donde existen concentraciones de plantas.

En el segundo tramo se pusieron los paragüitas, eneas y lemna, además, de peces para criarlos mientras ayudan a la depuración del canal. Añadir peces puede hacerse si el canal es suficientemente ancho, mínimo 50 cm.

En el tercer y último tramo, tiene lo mismo que el primero, pero al final de los paragüitas, eneas y lemnas se colocó un filtro de piedras y posteriormente unas tejas. El filtro de piedras es para evitar la salida de algas y lemnas del sistema, se recomienda al final de todos los canales. Y las tejas son para controlar el caudal de salida.

Tras varias semanas de estudio se demostró que la inclusión de plantas específicas en los tramos de reutilización de agua ha mejorado la calidad del agua, debido a la buena adaptación de las plantas al medio especialmente la lemna y los paragüitas. Se observa a su vez, que la aparición de algas filamentosas en el canal, introducen oxígeno en forma de burbujas en la superficie, afectando negativamente a la turbidez del agua.

Los paragüitas son una planta de crecimiento invasivo que acaban con las eneas en poco tiempo, por ello, deben separarse las plantaciones de ambas plantas. En general, las eneas tienen mejores rendimientos que los paragüitas, por ello, puede considerarse hacer plantaciones de eneas mejor que de paragüitas.

Además de las eneas, pueden sembrarse carrizos, juntos y otras plantas como se indica en el tema de plantas. En todo caso deben escogerse plantas de rivera cercanas a la localidad donde se trabaje sin olvidar el criterio marcado en dicho tema para saber si liberan oxígeno por la raíz.



Canal de Carrión

Durante las semanas siguientes, se ha retirado la lemna sobrante en el canal para su posterior secado al sol y utilización como pienso para animales de granja. Para evitar su deterioro es recomendable secar en capas finas, así las zonas más húmedas a las que no les da el sol no se pudren.



Lemna secandose para ser alimento en la granja.

Los canales de plantas tienen posibilidades buenas para la cría de peces. Para tener referencias mirar el tema de piscihuerta.

Estos canales de plantas se están construyendo en estos momentos en Crerev, Kimpese, R. D. del Congo, recogiendo la experiencia del canal de Carrión de los céspedes (Sevilla). Gran parte de este diseño se realizó para la finca Aberta Nova, Grândola, Portugal, en 2014.

3. Escaleras de oxigenación

Un diseño anterior al propuesto en este apartado, se realizó en planta de tratamiento de aguas residuales de Tarija, Bolivia, en 2010 y en Cuzco, 2013. Donde se construyeron escaleras de oxigenación de aguas residuales urbanas, pero sin los lechos de piedra por lo que su eficacia es inferior a la del sistema propuesto.



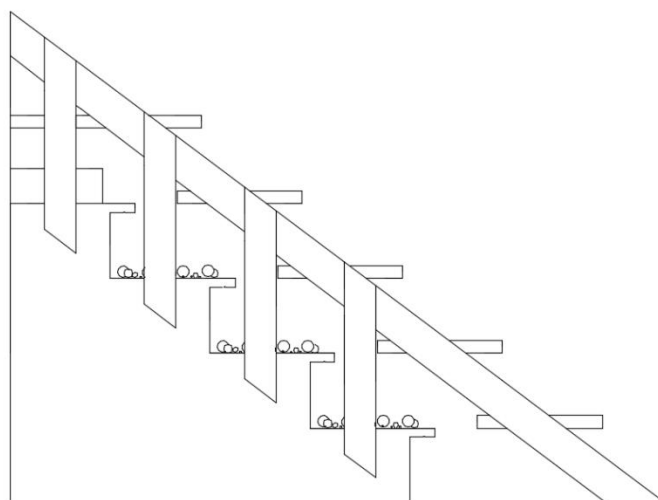
Escalera de Cuzco.

La idea inicial para modificar el diseño partió del siguiente prototipo experimental, una escalera de aluminio con dos escalones de 50 x 50 cm construidos sobre un desnivel de 1 metro. Se realizaron diferentes experiencias en busca del mejor coeficiente de inyección de oxígeno en agua por escalón según la altura y diferentes tamaños de piedras. A partir de esto, se ha calculado experimentalmente que la relación óptima entre la altura del salto y la profundidad del agua receptora es de 3/2, un poco más de altura de caída de agua que profundidad del lecho de piedras existente en cada escalón, además, que el tamaño de piedras recomendado es un tamaño medio, un puño.



Prototipo de la escalera de oxigenación.

Este trabajo de escalera mejorado está diseñado en Kimpese en la Escuela Crrev para la mejora de calidad de agua en el tratamiento de aguas residuales de la residencia, en el momento en el que se escribe este libro se encuentra en fase de construcción. El diseño es similar al siguiente esquema.



Esquema de la escalera diseñada en Crrev.

Una aplicación especial de la escalera de depuración o de oxigenación es su utilización en las viviendas hacinadas en los cerros de muchas ciudades en Latinoamérica, las favelas de Brasil o en algunas ciudades africanas, en cualquier barrio autoconstruido a las faldas de alguna pendiente donde tanta gente malvive. En estas zonas donde no caben saneamientos de ningún tipo porque no hay calles intermedias entre las casas que crecen de forma totalmente irregular y tienen pendientes grandes, solo existen una serie de escaleras que permiten el acceso a cada una de las viviendas.

Se trata de convertir esta escalera existente en una doble escalera, de forma que sea escalera de tránsito de personas por encima y de tratamiento de aguas residuales por debajo. Para ello habría que excavar y hacer una escalera de oxigenación debajo de la escalera de tránsito. Por muy pequeña y tortuosa que sea la escalera de tránsito existente esta tecnología puede usarse para recoger las aguas residuales de las viviendas y aprovechando la pendiente existente propiciar la depuración por oxigenación para evitar todos los problemas que genera el agua residual sin tratar. Este es el valor de la escalera de oxigenación en nuestro proyecto.

Como apunte final del tema se recomienda hacer una sucesión de las tres tecnologías: fosa anaerobia de alta velocidad, seguida de escalera de aireación y del canal de plantas. Esto se realizó en la EDAR de San Vicente del monte en Cantabria, España, en 2014.