

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.
2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.
3. OBJETIVO DEL PROYECTO.
4. SITUACIÓN.
5. MEMORIA DESCRIPTIVA.
 - 5.1. Descripción de la solución adoptada.
 - 5.2. Fosa Anaerobia de Alta velocidad.
 - 5.2.1. Procesos anaerobios.
 - 5.2.2. Principios de funcionamiento de la Fosa de Alta Velocidad.
 - 5.2.3. Resultados conocidos.
 - 5.2.4. Fosa Anaerobia de Alta Velocidad autoconstruida en el
Complejo Educativo Provincial Blanco White.
 - 5.3. Baccou.
 - 5.3.1. Principios de funcionamiento del Baccou.
 - 5.3.2. Pilotaje a nivel de laboratorio.
 - 5.3.2.1. Equipo.
 - 5.3.2.2. Análisis in situ.
 - 5.3.2.3. Curvas.
 - 5.3.2.4. Conclusiones.
 - 5.3.3. Reactor Baccou autoconstruido en el Complejo Educativo
Provincial Blanco White.
 - 5.4. Huerto.
 - 5.4.1. Normativa de reutilización.
6. MEMORIA DE CÁLCULO.
 - 6.1. Fosa de Alta Velocidad.

- 6.2. Baccou. Resultados de la investigación de laboratorio.
- 6.3. Baccou. Construcción a escala real.
- 6.4. Huerta.

7. IMPACTO AMBIENTAL.

8. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.

- 8.1. Objeto de estudio.
- 8.2. Prevención de riesgos profesionales.
 - 8.2.1. Protecciones individuales.
 - 8.2.2. Protecciones colectivas.
 - 8.2.3. Prevención de riesgos a terceros.
- 8.3. Disposiciones legales de aplicación.
- 8.4. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
 - 8.4.1. Estabilidad y solidez.
 - 8.4.2. Vías y salidas de emergencia.
 - 8.4.3. Exposición a riesgos particulares.
 - 8.4.4. Temperatura.
 - 8.4.5. Iluminación.
 - 8.4.6. Vías de circulación y zonas peligrosas.
 - 8.4.7. Espacio de trabajo.
 - 8.4.8. Primeros auxilios.

1. INTRODUCCIÓN.

El agua es un recurso natural vital para el ser humano y sus sociedades. Por ello se debe considerar que el acceso al agua de calidad es un derecho inalienable del ser humano.

El 28 de julio de 2010, a través de la **Resolución 64/292**, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. La Resolución exhorta a los Estados y organizaciones internacionales a proporcionar recursos financieros, a propiciar la capacitación y la transferencia de tecnología para ayudar a los países, en particular a los países en vías de desarrollo, a proporcionar un suministro de agua potable y saneamiento saludable, limpio, accesible y asequible para todos.

El acceso al agua es fundamental para la vida y para el desarrollo adecuado de las comunidades. Hoy en día gran parte de la población mundial tiene acceso a aguas con cierta calidad, pero también existen muchas otras que debido a diversos factores (poder económico y recursos) no tienen un tratamiento digno para sus aguas.

El contacto con el agua de mala calidad causa directamente la transmisión de enfermedades que causan millones de muertes en el mundo.

Suministrar agua limpia, eliminar el contacto directo con las aguas residuales y proporcionar servicios de saneamiento son tres de los fundamentos más básicos del desarrollo humano. En general lo deseable con las aguas residuales no es eliminarlas si no reutilizarlas si es posible y si no devolverlas a su cauce suficientemente depuradas.

En el presente proyecto se presenta el diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas en dos etapas seguido de una propuesta de reutilización, una primera de tratamiento anaerobio en fosa de alta velocidad seguida de un tratamiento secundario por sobreoxigenación con microalgas (Proceso Baccou). Ambos sistemas constituyen una innovación con respecto al estado actual de la técnica. Serán ubicados en los campos experimentales de la Escuela Internacional de Ingeniería del Agua de Andalucía (EIA) situados en el del Complejo Educativo Provincial Blanco White (CEP BW) y tratarán parte de las aguas residuales generadas en el complejo con el objetivo de ser experimentados, estudiados y descritos.

La Fosa de Alta Velocidad (FAV) es un tanque anaerobio cerrado y multicompartimentado con un diseño que permite trabajar a una velocidad cuatro veces superior a las fosas convencionales a igualdad de rendimientos en eliminación de sólidos y materia orgánica en el agua y que se presenta útil en eliminación de patógenos. Este sistema ha sido pilotado durante dos años en la tesis doctoral “Canales de saneamiento como sistemas de transporte, mejora y evacuación de las aguas negras” (Pozo, 2010). Sus conclusiones se recogen en el presente proyecto y su aplicación para el diseño y construcción en el Complejo Educativo Provincial Blanco White son objeto del mismo.

El proceso Baccou permite la desinfección del agua por medios naturales y ha sido estudiado a nivel de laboratorio en la Escuela Politécnica Superior, dicho estudio así como

su salto a escala real en el Complejo Educativo Provincial Blanco White son objeto de este proyecto.

Por tanto el objetivo general de este proyecto es darle a un agua residual doméstica un tratamiento sin consumo energético y que permita su reutilización en la agricultura.

Para ello, se construye en la parcela prevista una fosa anaerobia para eliminar gran parte de la materia orgánica que transporta las aguas residuales y un reactor Baccou en el que se eliminará de forma casi definitiva los patógenos causantes de las infecciones, para que el agua pueda reutilizarse.

2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Para el desarrollo del proyecto se han tenido en cuenta estudios anteriores de sistemas de depuración y desinfección de aguas residuales, estudiados a escala piloto y llevados posteriormente a escala real. A partir de algunos de ellos, se ha podido investigar un nuevo procedimiento para mejorar la calidad del agua.

A continuación se exponen las principales experiencias, por la cuales se ha podido llevar a cabo el presente proyecto.

- La Fosa de Alta Velocidad construida en Blanco White se ha estudiado ya en una tesis (Pozo 2010) y en ella se determinó que este sistema funcionaba correctamente, no obstante formaba parte de un proceso en conjunto diferente (fosa + canal) al de este proyecto.
- El sistema Baccou se estudió en una tesis doctoral (Fotobiorreactor para desinfección de aguas residuales, Moreno, 2008) que confirmó su funcionamiento en discontinuo. En este proyecto se estudia su funcionamiento en continuo y los resultados obtenidos nos indican que una calidad de agua influente similar a la de salida de la fosa es apropiada para su funcionamiento.
- Por tanto, por un lado nos interesa llevar a experimentación piloto el funcionamiento en continuo del Reactor Baccou y dados los resultados obtenidos implementarlo así mismo a escala real y por otro la Fosa de Alta Velocidad se muestra como un complemento apropiado, pues decidimos aunar intereses y montar ambas en serie.
- De este modo en el proyecto se determinará el comportamiento de la fosa en esta nueva experiencia, se pilotará a escala piloto y real el Baccou en continuo con la fosa, se comprobará la pertinencia de conectar ambos sistemas, se pondrá en funcionamiento ambos sistemas y se demostraran las posibilidades de reutilización del agua de salida de dicho sistema para agricultura.
- La Fosa de Alta velocidad nos da ventajas con respecto a los diseños tradicionales. Esta fosa tiene menores tiempos de retención hidráulicos (1 día frente a 4) a igualdad de rendimientos. Esto se consigue ya que aunamos las ventajas de los reactores de mezcla completa (por compartimentos) en un proceso global de flujo en pistón, que son más eficientes. Otra ventaja es el mayor rendimiento en la eliminación de patógenos por aumento del contacto agua-fango en la fosa.

- Las ventajas obtenidas del proceso Baccou son la desinfección natural sin coste alguno de energía y sin aportar al agua del sistema elementos químicos (por ejemplo: cloro) que aunque ayudan en el proceso de eliminación de patógenos también agreden al ecosistema.
- El agua de salida del Baccou sirve para la reutilización en agricultura. La agricultura representa más del 80% del consumo global del agua y además supone una fuente de alimentación asegurada.
- El Grupo TAR de la Universidad de Sevilla mantiene un convenio con la Escuela Internacional de Ingeniería del Agua de Andalucía (EIA) en virtud del cual puede hacer uso de las parcelas experimentales que la citada asociación tiene en el Complejo Educativo Provincial Blanco White (CEP BW) de manera que se cuenta con la posibilidad de uso de estos campos experimentales para la implementación de esta experiencia.

A partir de este planteamiento se desarrolla el siguiente proyecto a escala piloto en la Escuela Politécnica Superior, en el laboratorio del Grupo TAR de la Universidad de Sevilla donde ha sido ensayado el Reactor Baccou en continuo y a escala real en el Complejo Educativo Provincial Blanco White donde se construyen a escala real Fosa séptica + Reactor Baccou + Reutilización en huerto.

En la fosa séptica se lleva a cabo un tratamiento basado en el proceso anaeróbico, consiguiéndose una detención en el crecimiento de patógenos e incluso una cierta disminución (2 unidades exponenciales), acondicionando de esta manera el agua residual para su posterior vertido en el Reactor Baccou.

En el Reactor Baccou se realiza la desinfección hasta niveles próximos a cero de las aguas evacuadas para su reutilización posterior. El Reactor Baccou sigue secuencialmente a la fosa séptica, y consiste en un reactor hecho estanco con plástico transparente, apoyado sobre la lámina de agua a la que queda adherida por tensión superficial, y sellado por los costados y al principio y final del reactor, en definitiva en toda su superficie.

Las posibilidades de reutilización del agua se pondrán en demostración en una huerta a construir a tal efecto donde se verterá el agua desinfectada recogida del reactor Baccou para regar las plantaciones.

3. OBJETO DEL PROYECTO.

El objetivo del proyecto se divide en las siguientes partes:

- Diseño, construcción y puesta en marcha de la Fosa de Alta Velocidad a escala real en el Complejo Educativo Provincial Blanco White.
- Estudio del comportamiento del reactor Baccou en continuo con la fosa a escala de laboratorio en la Escuela Politécnica Superior.
- Diseño, construcción y puesta en marcha del reactor Baccou a escala real en el Complejo Educativo Provincial Blanco White.
- Diseño, construcción y puesta en marcha de una huerta situada a la salida del reactor Baccou como demostración de las posibilidades de este sistema de

conseguir una desinfección alta de las aguas residuales, obteniendo un agua de buena calidad para su reutilización como regadío en el huerto.

4. SITUACIÓN.

La investigación a nivel de laboratorio se realizó en el Laboratorio del Grupo TAR de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla, ubicado en la calle Virgen de África, Los Remedios, Sevilla.

El trabajo de campo, a escala real se realizó en el Complejo Educativo Provincial Blanco White, ubicada en la provincia de Sevilla, junto a la Carretera Isla Menor, Bellavista.

Ubicando el proyecto en los campos experimentales de la Escuela de Aguadores en el CEP, donde la fosa séptica tratará las aguas residuales urbanas que provienen de la Residencia de Estudiantes Blanco White de Bellavista.

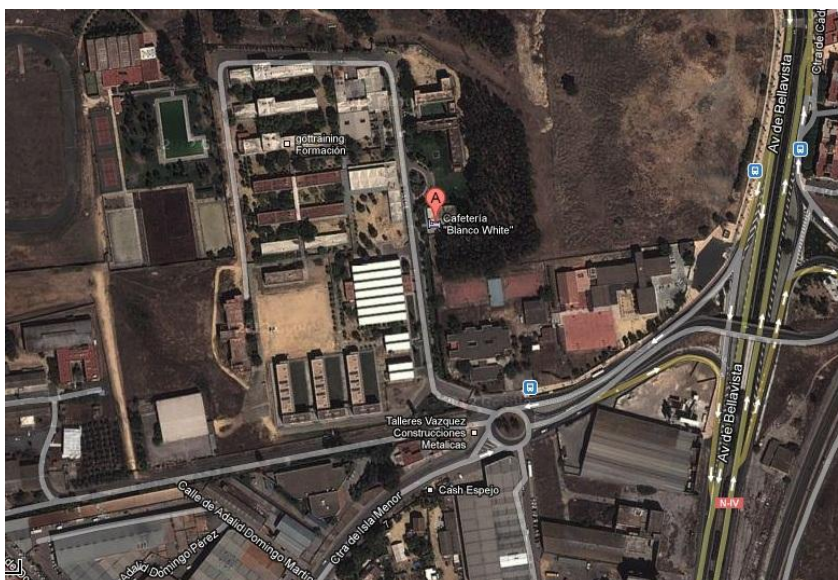


Foto 1. Ubicación Complejo Educativo Blanco White.

5. MEMORIA DESCRIPTIVA.

5.1. Descripción de la solución adoptada.

Cada uno de los sistemas que se describen en el proyecto, constituyen una innovación en sí mismos, bien por modificación de procesos ya existentes como es el caso de la Fosa de Alta Velocidad o bien por ser sistemas completamente novedosos como es el reactor Baccou.

La Fosa séptica de alta velocidad es una mejora sustancial frente a los diseños tradicionales, porque trabaja cuatro veces más rápida y con mayor índice de eliminación de patógenos frente a iguales rendimientos en materia orgánica y sólidos.

El reactor Baccou se estudia como un sistema innovador de desinfección de aguas, utilizando la energía solar y la producción excesiva de oxígeno disuelto como los parámetros primordiales para el buen funcionamiento del sistema.

Para llevar a cabo el presente proyecto, partimos de las siguientes premisas:

1. A partir de las tesis doctorales ya escritas parece que a priori, la calidad del agua de salida de la fosa séptica de alta velocidad coincide con los requerimientos de entrada al reactor Baccou.
2. Ambos sistemas son autoconstruibles, y constituyen alternativas para el tratamiento y la reutilización de aguas residuales con consumo energético nulo.
3. El pilotaje, diseñado para una cantidad determinada de m³/día permite culminar la experimentación con el paso a escala real de ambos sistemas para el vertido de varias familias, pudiendo determinarse la idoneidad de conexión de ambos procesos.
4. Los campos experimentales quedarán dotados de una infraestructura que permitirá que puedan ser estudiados así mismo estos sistemas de manera independiente y en conexión, y determinar si son compatibles para trabajar en continuo.

Teniendo en cuenta las características previsibles del agua a la salida de ambos tratamientos, las aguas residuales obtenidas del sistema de tratamiento Fosa séptica de alta velocidad + Reactor Baccou, serán reutilizadas para regadío en un huerto, que se encontrará situado a la salida del reactor Baccou.

La captación del agua residual procedente de los edificios del Complejo Educativo Provincial Blanco White, se realiza en un pozo de registro situado a 10 metros de la fosa séptica.

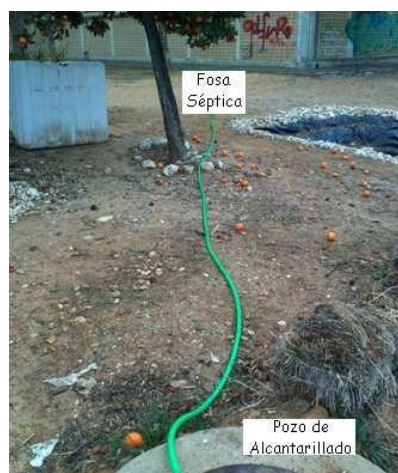


Foto 2: Situación entre el pozo de captación y la fosa séptica.

La instalación de la bomba de impulsión del agua se realiza en el interior del pozo, situada a 3 metros de profundidad.

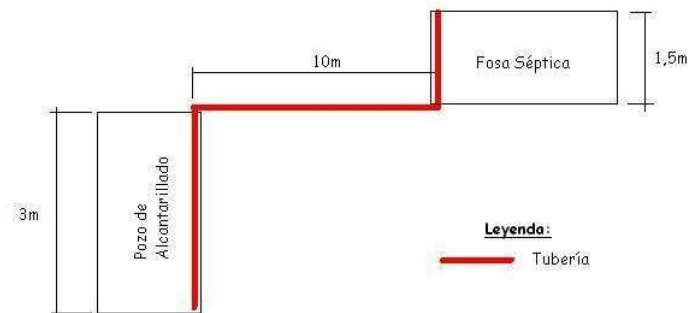


Imagen 1: Instalación de la bomba de impulsión.

Sabiendo que el caudal máximo de entrada a la fosa séptica es de $1.29 \text{ m}^3/\text{día}$ y según el criterio de la empresa especializada Baeza-SA, la bomba instalada ha sido la BOMBA ACHIQUE DRAINEX 202MA.

Además de la bomba, la instalación se completa con:

- Kit de acoplamiento estacionario dr1-2"
- 10 metros de tubería con diámetro 50 mm.
- Válvula de retención bola H.F. 1-1/2.
- Válvula esfera $1\frac{1}{2}$ " HH.



Foto 3: Bomba Achique Drainex 202MA.

5.2. Fosa anaerobia de alta velocidad.

En la Fosa de Alta Velocidad se desarrollan procesos biológicos anaerobios, por lo que en primer lugar se describe que es un proceso anaerobio para más tarde introducir el funcionamiento de la fosa y qué innovación supone.

5.2.1. Procesos anaerobios.

Son los procesos fermentativos que ocurren en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y a CO_2 , en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas.

La digestión anaerobia es un proceso muy complejo, tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos que se ven involucrados en ellas.

Los microorganismos anaerobios son microorganismos capaces de ejecutar sus funciones vitales en ausencia de oxígeno disuelto. Consiguen su energía a partir de la rotura de los enlaces de los compuestos orgánicos que se degradan a metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

La degradación biológica de la materia orgánica se produce por un mecanismo de cuatro etapas llevado a cabo por distintos grupos de bacterias:

1ª Etapa: Hidrólisis.

Este término indica la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las tres etapas siguientes.

Consiste en la transformación por vía enzimática de los compuestos de alto peso molecular en otros compuestos que puedan servir como fuentes de energía y de carbono celular.

2ª Etapa: Acidogénesis.

Consiste en la conversión bacteriana de los compuestos producidos en la etapa anterior en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular. Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias acidogénicas, generadoras de ácidos grasos volátiles de 5 o 6 átomos de carbono, mediante mecanismos de betaoxidación.

3ª Etapa: Acetogénesis.

Las acetogénicas son el tercer grupo de bacterias que rompe los ácidos grasos volátiles en ácido acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), o fórmico H-COOH (CH_2O_2) que a su vez se degrada en H_2 y CO_2 .

4ª Etapa: Metanogénesis.

Consiste en la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente metano y CO_2 .

Un sistema anaerobio que estabilice correctamente residuos orgánicos, debe tener valores muy bajos de oxígeno disuelto, estar libre de concentraciones inhibitoras de

constituyentes (metales pesados y sulfuros), y presentar valores de pH situados entre 6.6 y 7.6. Para su estabilidad debe existir una alcalinidad suficiente, que se produce por el bicarbonato amónico formado en el propio proceso.

5.2.2. Principios de funcionamiento de la Fosa de Alta Velocidad.

En la Fosa de Alta Velocidad así como en sistemas similares como lagunas anaerobias, tanques inmhoff..., se producen procesos biológicos anaerobios de degradación de la materia orgánica que constituyen sistemas de tratamiento empleados para la digestión de fangos procedentes de la línea de aguas de las EDAR, para el tratamiento de aguas muy cargadas o tratamientos en cabecera de aguas residuales urbanas generalmente de pequeños y medianos municipios. Este tratamiento consiste básicamente en la descomposición por vía microbiológica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular.

En las fosas y lagunas anaerobias decanta la materia sedimentable presente en las aguas residuales y se elimina parte de la materia orgánica. La fracción orgánica de la materia sedimentada experimenta reacciones de degradación anaerobia, mineralizándose paulatinamente.

El material sedimentado forma en la parte inferior de los tanques anaerobios una capa de lodo, que habrá que extraer tras un periodo de tiempo determinado en función de las cargas orgánicas, de los sólidos del agua y del rendimiento del sistema. La eficiencia de la eliminación de los sólidos por sedimentación puede ser grande, sin embargo, los resultados dependen en gran medida del tiempo de retención, los dispositivos de entrada y salida, el diseño de la fosa y la frecuencia de extracción de lodos.

La grasa, el aceite y otros materiales menos densos flotan en la superficie del agua formando una capa de grasas y espuma que contribuye al sellado natural de los tanques en superficie.

La materia orgánica contenida en la fosa es descompuesta por bacterias anaerobias. Los lodos que ocupan la parte inferior de la fosa se compactan debido al peso del líquido y a los sólidos que soportan.

Las fosas sépticas usuales, no están diseñadas principalmente para la eliminación de patógenos, y por eso no tienen buena separación entre las corrientes de entrada y salida, que al mezclarse en algún porcentaje disminuyen los rendimientos de desinfección.

Por eso en este trabajo se expone el diseño de una fosa séptica más eficiente en la eliminación de patógenos, que pasa a ser el parámetro más importante en el proceso.

Las fosas sépticas se encuentran compartimentadas, siendo la disposición más frecuente la de dos compartimentos dispuestos en serie. En el primero de ellos tiene lugar la sedimentación, digestión y almacenamiento de los sólidos decantables del agua residual a la vez que en superficie se forma progresivamente una costra constituida por las grasas y flotantes presentes en las aguas.

Durante la decantación anaerobia de los lodos decantados las burbujas de gas producidas obstaculizan la sedimentación de los sólidos por lo que se dispone de un segundo compartimento en el que las partículas más ligeras encuentren condiciones de sedimentación más favorables.

5.2.3. Resultados conocidos.

La Fosa de Alta Velocidad ha sido previamente experimentada en el laboratorio del Grupo TAR de las Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla.

Dicha fosa tiene unas características especiales para que se produzca en su interior la reducción de materia orgánica para la mejora de la calidad del agua residual. Se estudió que al poner varios compartimentos la reducción de carga era mayor, por lo que se diseñó con tres compartimentos, comunicados entre sí.

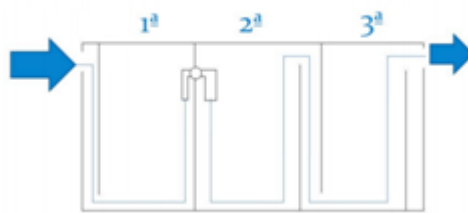


Imagen 2. Fosa de Alta Velocidad.

A continuación se exponen las conclusiones que dicha investigación permitió extraer como base para el desarrollo del presente proyecto.

- La fosa séptica autoconstruida con tres cámaras de separación, consigue un régimen de mezcla completa por compartimento a los que accede el agua en flujo pistón atravesando el lecho de fangos con garantía de un suficiente grado de mezcla y de una ocupación completa del volumen de reactor.
- Los rendimientos obtenidos en la nueva fosa séptica son mejores que los obtenidos en la fosa piloto en eliminación de patógenos, se registran aumentos de 2 unidades logarítmicas con tiempos de retención que representan un 25% de los originales en la fosa piloto.
- Se mantienen los rendimientos en eliminación de materia orgánica en la fosa real con respecto a la fosa piloto (diseño tipo laguna anaerobia) para tiempos de retención cuatro veces menores.
- Aumentan los rendimientos en eliminación de sólidos en un 85.7% con respecto a los obtenidos en la fosa piloto trabajando a tiempos de retención cuatro veces menores.

- Para predecir la eliminación de coliformes fecales en la fosa séptica es posible la utilización de los modelos de Polprasert y Hoag y el modelo de Medina, con un coeficiente de $k_p=5.96$ l/g SV.d y de $k_m=0.92$ l/g SV.d respectivamente para cada modelo. El límite para la predicción de la mejora de calidad bacteriológica se establece para TRH de 1.2 días con coeficientes de $k_p=3.78$ l/g SV.d y de $k_m=0.58$ l/g SV.d respectivamente. El ajuste de los citados modelos disminuye al aumentar el tiempo de retención hidráulico pues se han registrado rendimientos superiores.
- La fosa autoconstruible investigada puede diseñarse con un tiempo de retención hidráulico comprendido entre 0.7 y 1.4 días para obtener rendimientos comprendidos entre el 36 y el 46% en DBO₅, el 36 y el 42% den DQO y entre el 65 y el 75% en SS.

2.4.4. Fosa anaerobia de Alta Velocidad autoconstruida en el Complejo Educativo Provincial Blanco White.

Se proyecta y construye en el Complejo Educativo Provincial Blanco White una fosa séptica de alta velocidad de espacio útil de 4 m de largo x 2 m de ancho y con una altura del agua de 1.5 m.

Con el objetivo de reutilizar materiales disponibles se ha construido el muro de contención de las cuatro paredes con neumáticos de 60 cm de diámetro rellenos de tierra cubriéndolos con un mortero de cemento, arena y cal. De esta forma se ha conseguido una simulación de pared.

Los compartimentos interiores se han construido con ladrillos, para no ocupar mucho sitio, colocando tubos de PVC para vehicular el agua entre los compartimentos según el circuito en zigzag descrito anteriormente para la circulación del agua residual dentro de la fosa.

La fosa anaerobia de alta velocidad se diseña con parámetros de:

- Tiempo de retención hidráulico: Éste representa el tiempo que el agua residual deberá permanecer en el sistema para obtener un buen rendimiento en la calidad del agua de salida.

El tiempo de retención hidráulico se calcula mediante los datos de volumen de la fosa y volumen de la alimentación.

Los resultados obtenidos de tiempo de retención hidráulicos de fosas autoconstruidas se desprenden de las conclusiones de la investigación que precede y han sido citados anteriormente, $0,7 < TRH < 1,2$ d frente a los 4 días normalmente utilizados.

En este proyecto se trabaja con un tiempo de retención hidráulico de 2 días, por lo que el volumen de fosa requerido es de 1.84 m³. Las dimensiones del tanque son 2.5 m de largo x 0.8 m de ancho x 1 m de altura (dimensiones del reactor quitando los neumáticos y ladrillos utilizados en construcción).

- Eliminación de patógenos: Mayor eficiencia lograda gracias al aumento del contacto agua-fangos y el aprovechamiento de todo el volumen útil de la fosa. Este parámetro se mide en unidades logarítmicas.

De este modo el agua es preparada para su circulación a través del Baccou con los siguientes beneficios:

- Reducción del número final de patógenos en el agua residual conducida.
- Reducción de los sólidos en suspensión sedimentables presente en el agua. Son previsibles rendimientos del 60-65% en eliminación de SS.
- Reducción de la materia orgánica del agua residual con rendimientos de 30-40%.

5.3. Baccou.

Uno de los objetivos de este proyecto es conseguir la eliminación completa de patógenos del agua por medios naturales utilizando el reactor Baccou. Este proceso es posible gracias a la sobresaturación de oxígeno que se produce en el reactor cargado con aguas con suficiente contenido en materia orgánica como consecuencia de la actividad fotosintética de las microalgas que en él se generan siempre y cuando estén -suficientemente expuestas a la luz solar y sea dispuesta sobre la lámina de agua en contacto con la atmósfera algún tipo de cubierta transparente que impida el escape del oxígeno generado al exterior. Al quedar atrapado el oxígeno generado por las microalgas en el seno de la masa de agua se puede trabajar en sobrestaturación, en el reactor Baccou aparecen formas reactivas que colaboran en el proceso de eliminación de patógenos.

Atendiendo a datos genéricos sobre la capacidad de aporte de oxígeno por parte de las algas, podemos citar que el parámetro medio de aporte de oxígeno por algas marinas es de 10 l O₂ al día por m². Los resultados obtenidos en las investigaciones previas citadas anteriormente suponen una corrección a la baja debido a la diferencia de calidad del agua, la capacidad de penetración de los rayos solares, temperatura, etc. No obstante sí cabe pedir al sistema un gran incremento en oxígeno disuelto producido por las microalgas que es atrapado por el plástico que cubre el sistema y lejos de escapar a la atmósfera es reintroducido en el líquido.

En los estudios realizados anteriormente sobre el Baccou, se ha obtenido que en régimen discontinuo de dichos sistemas cerrados de sobreoxigenación, se alcanza el 100% de rendimiento en la eliminación de los principales bioindicadores de contaminación microbiológica. La eliminación de estos indicadores es consecuencia del efecto conjunto de los aumentos de oxígeno disuelto, pH y temperatura, así como la incidencia de la radiación UV y el agotamiento de nutrientes.

Así mismo se han alcanzado concentraciones de más de 35 ppm de oxígeno disuelto, que sumadas a las condiciones de pH del cultivo, y a la radiación ultravioleta incidente, depuran de materia orgánica y desinfectan de patógenos las aguas residuales hasta niveles próximos a cero.

En este proyecto se diseña un reactor Baccou como sistema en régimen continuo, conectado a la fosa descrita en el apartado anterior, en el que se quiere conseguir la

eliminación completa de los bioindicadores de contaminación microbiológica (patógenos), este parámetro depende de las condiciones descritas anteriormente que afectan directamente a nuestro reactor.

Tres etapas definen el proceso completo de eliminación de patógenos producido en el reactor Baccou: una primera aireación fotosintética en la que se produce la eliminación de bacterias CF acompañada de valores de oxígeno disuelto superiores a 20 mg/L diurnos y 10 mg/L nocturnos, una segunda etapa de mantenimiento de las microalgas y una tercera de decantación de microalgas y clarificación del medio.

El sistema conjunto de Fosa de Alta Velocidad + Reactor Baccou descrito, debe proporcionar agua con una calidad suficiente para su reutilización, que en este proyecto se destinará para regadío de un huerto, situado a la salida del reactor Baccou.

5.3.1. Principios de funcionamiento del Baccou.

La sobresaturación de oxígeno en agua debe conseguirse en un depósito herméticamente cerrado y expuesto a la luz solar como fuente de energía. En estas condiciones, la fotosíntesis a partir del CO₂ llevada a cabo por las microalgas incrementa la cantidad de oxígeno disuelto en agua, lo que da lugar a la degradación aerobia total de la materia orgánica. El nuevo CO₂ obtenido da lugar a nueva biomasa algal, con posterior producción de nuevo oxígeno, que además de disuelto en el agua, se almacena en grandes burbujas en el sistema estanco.

Se ha comprobado que en ambientes abiertos, el agua se satura de oxígeno en concentraciones aproximadas de 8 a 9 mg/L. En ambientes cerrados, como es nuestro caso, se supera de sobra el límite máximo de saturación de oxígeno, que llega a más de 30-40 ppm en horas soleadas. Estas altas concentraciones de oxígeno conducen a formas reactivas de O₂ (H₂O₂) o más bien oxidrilos, OH⁻, potente desinfectante.

Según los estudios del Dr. Baccou, se investiga un modelo piloto de reactor en régimen continuo, colocado en la ventana del Departamento TAR de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla. Con las conclusiones obtenidas de este modelo, se diseña y construye a escala real el reactor Baccou, ubicado en el Complejo Educativo Provincial Blanco White.

5.3.2. Pilotaje de nivel de laboratorio.

5.3.2.1. Equipo.

Para realizar el ensayo se construyó un canal de 1 m de longitud x 0.2 m de ancho x 0.2 m de altura, transparente, en metacrilato dotado de cierre hidráulico a entrada y salida del agua y completamente cubierto con plástico transparente que, al descansar sobre la lámina de agua, quedará adherida a ésta por tensión superficial, habiéndose sujetado a los laterales y extremos del canal mediante pinzas.

El canal se instaló en la ventana del Laboratorio del Grupo TAR en la Escuela Politécnica Superior de Sevilla.



Foto 4. Modelo piloto de laboratorio.

El oxígeno disuelto producido por las microalgas es atrapado por el plástico que cubre el sistema y lejos de escapar a la atmósfera es reintroducido en el líquido.

Para este ensayo se diseñó una trampa hidráulica que evitará las pérdidas de oxígeno en el sentido transversal del canal, entendiéndose que la estanqueidad longitudinal se puede conseguir con un buen dispositivo de piedras alineadas sobre el plástico en su aplicación a escala real o cualquier otro elemento de sujeción (pinzas) para el piloto de laboratorio.

5.3.2.2. Análisis in situ.

Dicho reactor se alimentó con un régimen normal de 5 l/día durante 12 h/día con agua residual, obteniendo de este modo un tiempo de retención hidráulico de 8 días.

Para la puesta en marcha del reactor se realizó una siembra de un concentrado de algas y manteniendo el reactor a intemperie. Al cuarto día se observa la aparición de la coloración verde y al séptimo día aparece el bloom de algas. En este momento se procede a la cubrición del reactor con la lámina de plástico.

Dicha investigación se realiza entre los meses de Noviembre a Enero y de ella se obtienen los siguientes resultados:

PARÁMETROS	ENTRADA CANAL BACCOU	SALIDA CANAL BACCOU
OD (mg/l)	+ 0.9	> 20
CF (UFC/100 ml)	4.02×10^5	40

Tabla 1. Resultados obtenidos proceso Baccou.

PARÁMETRO	ENTRADA CANAL DE SOBREOXIGENACIÓN	SALIDA CANAL DE SOBREOXIGENACIÓN	RENDIMIENTO
CF (UFC/100 ml)	5.3×10^5	9×10^3	98.3%

Tabla 2. Eliminación de patógenos en el proceso Baccou.

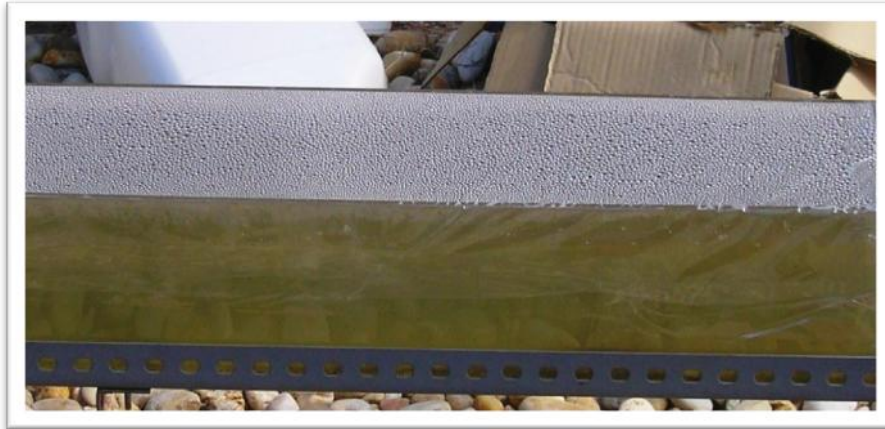


Foto 5. Canal Baccou con parámetro de OD=6 mg/l.



Foto 6. Canal Baccou con parámetro de OD>20 mg/l.

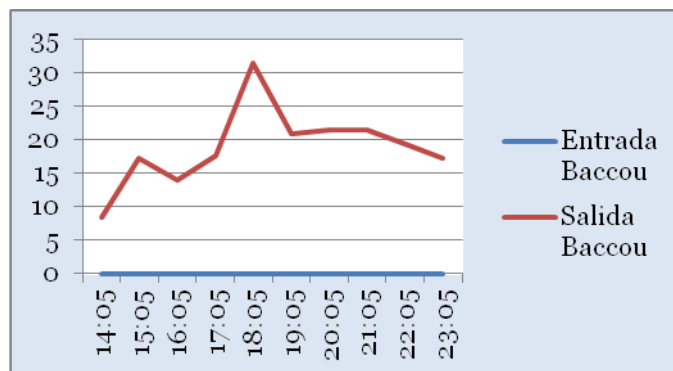
Se observa que la eliminación de patógenos se produce debido a los cambios paramétricos que afectan a las condiciones del reactor:

- Aumento de 1.74 unidades de pH.
- Incidencia de la radiación ultravioleta ($\lambda=250-270$ nm: alteración del material genético).
- Aumento de la concentración de OD>20 mg/l.
- Incapacidad de reproducción de los microorganismos fecales.
- Formación de H_2O_2 .

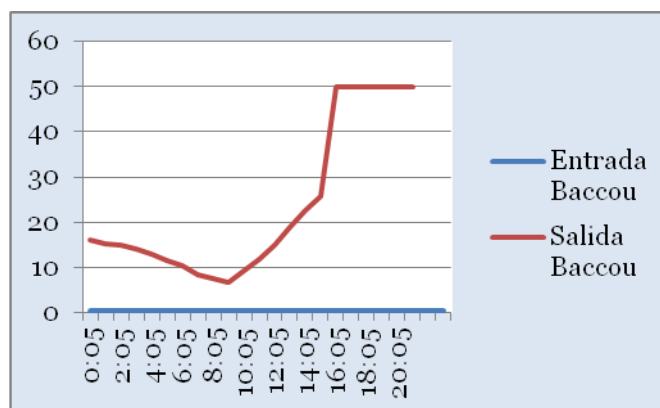
5.3.2.3. Curvas.

Del modelo piloto del canal Baccou se realiza todos los días un registro de muestras, para comprobar la calidad del agua.

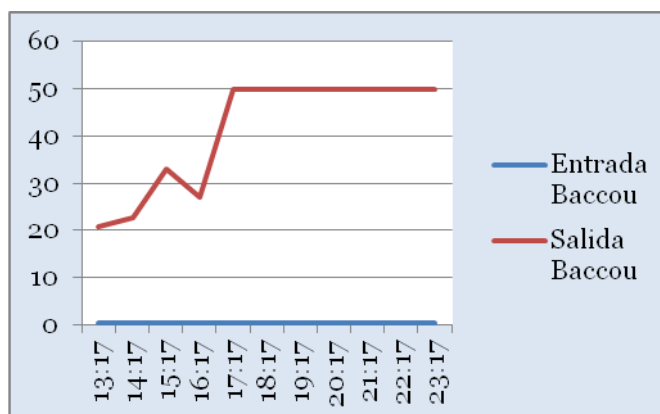
Cada hora se mide la cantidad de oxígeno disuelto que hay en el reactor y con los datos obtenidos, se han realizado gráficas para observar la evolución del sistema.



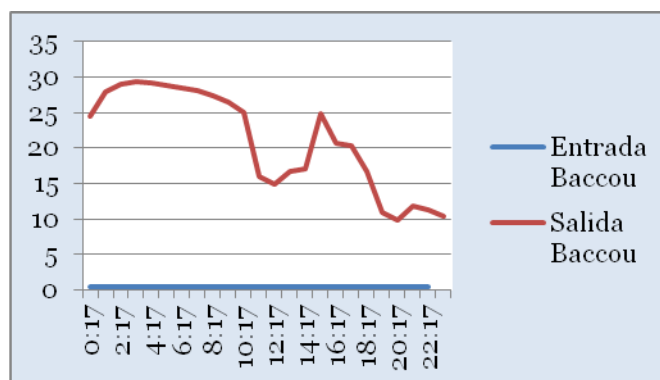
Gráfica 1. Medida del O₂ disuelto el 02/2012.



Gráfica 2. Medida del O₂ disuelto el 03/2012.



Gráfica 3. Medida del O₂ disuelto el 04/2012.

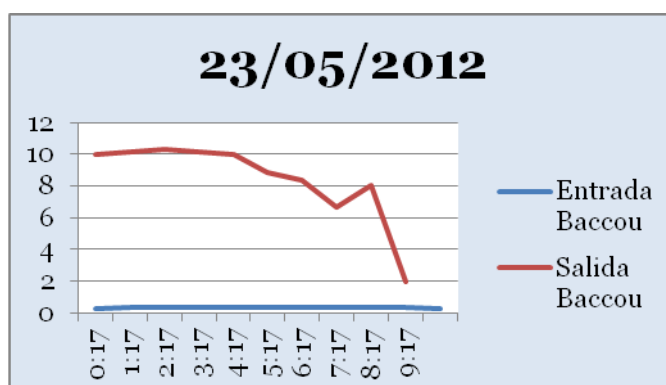
Gráfica 4. Medida del O₂ disuelto el 05/2012.

En las distintas gráficas se observa que a medida que avanza el día, el oxígeno disuelto en el reactor es mayor, esto es debido a que la temperatura aumenta, ya que los rayos del sol penetran en el sistema. Al absorber los rayos solares, las algas realizan la función fotosintética, produciendo oxígeno y absorbiendo CO₂. La temperatura aumenta y el pH disminuye, debido a la disminución de materia orgánica que se está produciendo en el sistema.

Durante las horas nocturnas, el oxígeno disuelto del sistema disminuye debido a que las algas no están trabajando, porque no captan energía solar para realizar la función fotosintética.

A la entrada del Baccou, el contenido en OD en agua es prácticamente nulo mientras que a la salida se observan las diferencias oportunas en este parámetro en función de la hora en la que se está realizando la medición.

Baccon caído!!!

Gráfica 5. Medida del O₂ disuelto el 22/05/2012.

Variaciones en el caudal de alimentación o la carga indican que si la cantidad de agua residual de entrada en el reactor es pequeña o la carga orgánica insuficiente, las algas no tienen suficiente cantidad de materia orgánica para alimentarse y realizar su función correctamente, por lo que las algas quedan inhibidas cayendo al fondo del reactor. Por tanto se ha de establecer una carga orgánica mínima de trabajo para garantizar el funcionamiento del reactor, valor que a la vista de los resultados obtenidos quedará fijada en la memoria de cálculo

5.3.2.4. Conclusiones.

Se ha obtenido una eliminación de bioindicadores CF de cuatro unidades exponenciales, que permite suponer un comportamiento análogo de los microorganismos patógenos de origen fecal, inducida por las siguientes circunstancias:

- Se ha registrado un aumento significativo de pH. Dicho aumento implica una importante modificación del medio que afecta a los microorganismos de origen fecal, sensibles a la valoración de este parámetro.
- La incidencia de la radiación UV. El canal de sobreoxigenación bajo plástico, está construido de materiales transparentes y cubierto de una lámina plástica parcialmente transparente a la incidencia de la radiación UV correspondiente al rango de longitud de onda (250-270 nm) que penetran en la célula, inhibiendo su capacidad reproductiva por alteración del material genético.
- El aumento de la concentración de oxígeno disuelto por encima de 20 mg/L. Este aporte confiere un fuerte carácter oxidante al medio, que afecta a la supervivencia de los microorganismos.
- Incapacidad de reproducción que presentan los microorganismos fecales fuera de los organismos en los que se desarrollan de forma natural, que se ve potenciada por modificaciones en parámetros como el pH y en ocasiones, la temperatura.
- Durante el proceso Baccou se confirma la formación de H_2O_2 . La formación de peróxido de hidrógeno en condiciones de saturación de oxígeno en medio acuoso puede venir dada por participación en los equilibrios de formación de formas reactivas de O_2 . Entre estas especies se encuentran H_2O_2 y O_3 que poseen probadas propiedades desinfectantes.

5.3.3. Reactor Baccou autoconstruido en el Complejo Educativo Provincial Blanco White.

El Baccou a escala real construido en el Complejo Educativo Provincial Blanco White se diseña con parámetros de tiempo de retención hidráulica de 3 días por lo que su volumen para el caudal de alimentación (1000 l/día) es 3 m³ habiéndose diseñado con una relación largo/ancha de 2 unidades y limitado su profundidad a 0,4 m debido al escaso poder de penetración de la radiación UV y tiene unas dimensiones de 4 m de longitud x 2 m de anchura x 0.4 m de profundidad, con una pendiente en su base del 1.5%.

La calidad prevista de salida del agua de la fosa es acorde con las necesidades mínimas de alimentación fijadas en el apartado 5.2.4 y justificadas en la memoria de cálculo.

Así mismo de acuerdo al diseño, la eliminación de patógenos esperada es de cuatro unidades logarítmicas.

Ha sido construido por medios manuales, siguiendo los siguientes pasos:

- a) Excavación del reactor. El sistema se construye justo a la salida de la Fosa de Alta Velocidad y termina cerca de una huerta. La excavación se ha realizado por medios manuales, utilizando picos, palas, rastrillo y carretillas para el transporte de tierras.

La dificultad que entraña la cubrición completa de la lámina de agua y los riesgos que implica que ésta no sea perfecta ya que conducirían a convertir el proceso de sobreoxidación en un proceso anaerobio induce a instalar reactores pequeños en paralelo cuando el sistema así lo requiera y lo permita.

- b) Impermeabilización del terreno. El terreno es arenoso por lo que ha de ser impermeabilizado para evitar problemas de contaminación por filtración al subsuelo.

La impermeabilización se ha realizado utilizando plástico de color negro en el fondo y paredes del reactor. El color negro absorbe más rápido los rayos solares, aportando al sistema mayor energía.



Foto 7. Impermeabilización del canal.

- c) Se realiza la siembra de un concentrado de algas procedentes de una siembra masiva realizada para disponer del inóculo inicial.
- d) Se mantiene a temperatura ambiente y expuesto a la luz solar.
- e) Llenado del canal. Al producirse el llenado completo del canal, se observó la coloración verde característica correspondiente al desarrollo de poblaciones de microalgas.



Foto 8. Llenado del canal.

- f) Cubierta de plástico. Una vez alcanzado el punto óptimo de concentración de microalgas, se procedió a cubrir herméticamente el sistema con una lámina de plástico que descansa sobre la superficie del agua, forzando su adhesión a la misma. De esta forma se consiguió la minimización de la cámara de aire entre la superficie del agua y la lámina de plástico.



Foto 9. Colocación del plástico.



Foto 10. Hermetización del canal.

- g) Se aseguró el plástico a los bordes del reactor mediante piedras recogidas del entorno y arena.



Foto 11. Colocación de las piedras alrededor del plástico.



Foto 12. Aseguración del plástico con la ayuda de arena.

En la puesta en marcha del reactor Baccou pueden aparecer problemas con la alimentación, el indicativo de este problema puede obtenerse de manera visual. El agua contenida en el reactor va pasando de color verde intenso a otras tonalidades menos intensas de verde, hasta llegar a la ausencia de color. Esto es debido a la disminución de la carga orgánica de alimentación al sistema, que provoca el abatimiento de las algas y su posterior sedimentación.

Este problema puede solucionarse introduciendo al sistema una mayor cantidad de alimentación, de esta forma el sistema va recuperándose poco a poco, volviendo en unos días a tener de nuevo un bloom de algas.

Si el agua se vuelve de color marrón, indica sobrecarga del sistema por exceso de materia orgánica.

Para solucionar este problema, es necesario bajar la carga hidráulica o requerir mayor rendimiento a la unidad anterior.

5.4. Huerto.

Una vez desaguadas con éxito las aguas residuales a través del sistema descrito con anterioridad se abren las posibilidades de reutilización tanto de las propias aguas residuales cuya calidad ha mejorado sensiblemente y que han experimentado una reducción muy importante en su contenido en patógenos como de las algas generadas si se ha aplicado en la última etapa del proceso Baccou.

El agua de salida del canal Baccou se ha reutilizado en un huerto construido al efecto.

El huerto ha sido autoconstruido en una terraza nivelada, la cual se ha estabilizado con estacas para la contención de la tierra.

El terreno asignado al huerto es de las siguientes dimensiones: 2.80 m de ancho x 3.20 m de largo.

En un lado del huerto se ha construido un muro de contención con piedras y al otro lado se han colocado unas tablas verticalmente.

En la estación invernal los cultivos plantados en la huerta pueden ser cualquier tipo de los cultivos invernales: habas, guisantes, lechuga, espinacas, zanahorias, etc. En la primera experiencia llevada a cabo en el presente proyecto, la principal plantación fueron los guisantes.



Foto 13. Huerto finalizado.



Foto 14. Huerto (vista frontal).



Foto 15. Plantación huerta.

La normativa de reutilización de aguas establece calidades exigidas según los usos previstos. En el presente proyecto la calidad del agua a conseguir es la correspondiente al uso para agricultura de la tabla 3 que aparece a continuación.

5.4.1. Normativa de reutilización.

Según la Ley 11/2005, de 22 de junio, se entiende por reutilización de las aguas a la aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.

Dicha Ley, que modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, contiene una modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, en la que se ha dado nueva redacción del artículo 109.1.

Este artículo nos da las condiciones básicas para la reutilización de las aguas depuradas, en la que aparecen los usos admitidos de éstas. En el anexo I.A. se establecen los criterios de calidad necesarios para aguas de reutilización.

Dichos requerimientos han sido los criterios de exigencia utilizados para el cálculo del reactor Baccou, como se indica en la memoria de cálculo.

6. MEMORIA DE CÁLCULO.

6.1. Fosa de alta velocidad.

El diseño de la fosa séptica responde a los siguientes cálculos:

Diseño de la fosa séptica compartimentada (rango de valores).

Población servida	25 hab.eq
Caudal unitario aporte AR (Q_{unit})	40.0 l/hab.eq/d
Caudal medio diario (Q_{med})	1.00 m ³ /d
Relación largo/ancho ($R_{l/a}$)	2
Tiempo de retención hidráulico (d) (TRH)	2 d
Volumen del tanque (V_{tanque})	2 m ³
Superficie	2 m
Longitud del tanque (l)	2.8 m
Ancho del tanque (a)	0.8 m
Altura del tanque (h)	1 m
Resguardo (R)	0.15 m
Altura total (h_{total})	1.15 m
Volumen útil fosa séptica autoconstruida (V_{util})	1.84 m ³
Intervalo para extracción de lodos	2 años
Altura prevista lodo fosa (h_{lodos})	0.2 m
Volumen lodos (V_{lodos})	0.32 m ³
% volumen de lodos sobre volumen total (%V)	0.17%
Volumen unitario de lodos ($V_{unit\ lodos}$)	0.01 m ³ al año/hab.eq
Volumen de natas (V_{natas})	0.70 m ³
Número de compartimentos ($N_{compartimentos}$)	3
Volumen por compartimentos ($V_{compartimentos}$)	0.613 m ³
Área superficial del tanque ($A_{superficial}$)	1 m
Profundidad de sedimentación: ($h_{sedimentación}$)	0.51 m

Profundidad de natas: (h_{natas})	0.44 m
Profundidad almacenamiento de lodos: ($h_{almacenamiento\ lodos}$)	0.2 m
Volumen de sedimentación: ($V_{sedimentación}$)	0.82 m ³
Profundidad neta del tanque séptico: ($h_{neta\ tanque}$)	1.15 m
Volumen total útil fosa: (V_{total})	1.84 m ³
Altura total tanque séptico: (h_{total})	1.30 m
Volumen total neto de la fosa: ($V_{total\ neto}$)	2.08 m ³
Pendiente de la base (m)	1%

La fosa séptica tendrá forma rectangular de 4 m de longitud x 2 m de ancho x 1.5 m de altura total. Quedará dividida en tres compartimentos conectados entre sí por el sistema de tubería detallado en los planos.

Con estos datos se empiezan a calcular los diferentes parámetros que definirán la fosa:

$$\begin{aligned}
 - V_{tanques} &= Q_{med} \cdot TRH \text{ (m}^3\text{)} \\
 - Superficie &= V_{tanques} / h \text{ (m}^2\text{)} \\
 - h_{total} &= h + R \text{ (m)} \\
 - V_{\text{útil}} &= h_{total} \cdot R_{\frac{l}{a}} \cdot a \text{ (m}^3\text{)} \\
 - V_{lodos} &= h_{lodos} \cdot a \cdot R_{\frac{l}{a}} \text{ (m}^3\text{)} \\
 - \%V &= V_{lodos} / V_{total} \\
 - V_{unit\ lodos} &= V_{lodos} / Población\ servida \text{ (m}^3\text{)} \\
 - V_{compartimentos} &= V_{\text{útil}} / N_{compartimentos} \text{ (m}^3\text{)} \\
 - A_{superficial} &= R_{\frac{l}{a}} \cdot a \text{ (m}^2\text{)} \\
 - h_{sedimentación} &= h_{total} - h_{natas} - h_{almacenamiento\ lodos} \text{ (m)} \\
 - h_{natas} &= V_{natas} / A_{superficial} \text{ (m)} \\
 - h_{almacenamiento\ lodos} &= V_{lodos} / A_{superficial} \text{ (m)} \\
 - V_{sedimentación} &= h_{sedimentación} \cdot A_{superficial} \text{ (m}^3\text{)} \\
 - h_{neta\ tanque} &= h_{almacenamiento\ lodos} + h_{natas} + h_{sedimentación} \text{ (m)} \\
 - V_{total} &= h_{neta\ tanque} \cdot A_{superficial} \text{ (m}^3\text{)} \\
 - h_{total} &= R + h_{neta\ tanque} \text{ (m)} \\
 - V_{total\ neto} &= h_{total} \cdot R_{\frac{l}{a}} \cdot a \text{ (m}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

El los datos obtenidos se observa un TRH = 2 días, a pesar de que sería posible trabajar a TRH = 0.7 días, la fosa se ha diseñado de esta forma, ya que 2 días es el límite inferior normalmente requerido en los diseños tradicionales, como la fosa construida en Blanco

White es de alta velocidad, el TRH utilizado será el valor límite superior permitido para que ésta fosa sea considerada una innovación frente a las demás.

Por todo esto el caudal máximo que admite la fosa séptica es:

$$TRH = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{V_{\acute{u}til}} \rightarrow Q_{m\acute{a}x} = 1.29 \text{ m}^3/\text{día}$$

El volumen total de la fosa sería de 2 m³ pero debido a que las paredes están construidas con neumáticos y los compartimentos con ladrillos, debemos quitar el área correspondiente a éstos elementos para obtener el volumen útil de la fosa autoconstruida.

El objetivo fundamental del diseño de la fosa es el de mejorar la calidad del agua con vistas a una mejor circulación de éstas por el reactor Baccou. Los mecanismos de depuración que se llevarán a cabo en la fosa séptica diseñada serán la flotación y sedimentación de sólidos y la reducción de materia orgánica por vía anaerobia favorecida por contacto con el lodo anaerobio que también beneficia la reducción del agua de los SS y SD. Digestión anaerobia del lodo y reducción significativa de patógenos.

Los patógenos son en su mayoría microorganismos de naturaleza aerobia que dependen de unas condiciones ricas en materia orgánica y oxígeno disuelto para proliferar. A pesar de existir en la fosa una carga suficiente de materia orgánica, la ausencia de oxígeno inhibirá el crecimiento de los microorganismos patógenos que mueren durante el desarrollo de las fases de acidogénesis-acetogénesis y pasarán a formar parte de la materia orgánica, sustrato fundamental de la degradación anaerobia que se produce en la fosa séptica (Pozo L, Lebrato J; 2009).

Se puede aceptar que la fosa anaerobia autoconstruible se ajusta al modelo matemático de Medina (Medina, R.I.; 1999) de predicción de la calidad bacteriológica con coeficiente adaptado a la configuración de la fosa descrita (Pozo L, 2010).

Según Medina:
$$\ln\left(\frac{CF_f}{CF_0}\right) = k_m \cdot TRH \cdot X \cdot \left(1 - \frac{\%V_{lodos}}{100}\right)$$

Donde:

CF₀ (.../100 mL): coliformes fecales en el influente al reactor.

CF_f (.../100 mL): coliformes fecales en el efluente del reactor.

K_m (l/gSVdía): constante de mortalidad de CF de Medina = 0.91 ± 0.33 (T=15°C).

TRH (días): tiempo de retención hidráulico.

X (g SV/l): concentración de sólidos volátiles en el lado del reactor.

% V_{lodo}: porcentaje de volumen de reactor ocupado por el lodo.

De esta fórmula se podrá despejar mediante un cálculo iterativo para el TRH estimado anteriormente la cantidad de coliformes fecales en el efluente del reactor, CF_f . Estos cálculos se recogen a continuación:

Predicción de la calidad bacteriológica:

- Para 0.7 días de TRH:

CF_0 (.../100 mL)	1.50E+06
CF_f (.../100 mL)	1.80E+04
K_m (l/gSVdía)	0.83
K_p (l/gSVdía)	5.39
TRH (días)	0.8
X (g SV/l)	6.5
V_{lodo} (% Vol)	0.17

Modelo de Medina:

$\ln(CF_f/CF_0)$	4.42
$(-k_m \cdot TRH \cdot X \cdot (1 - (\%V_{lodo}/100)))$	4.42

Modelo de Polpraset y Hoag:

$\ln(CF_f/CF_0)$	4.42
$K_p \cdot TRH$	4.42

Tras el cálculo iterativo se puede concluir que la cantidad de patógenos se reduce en dos unidades logarítmicas a la salida de la fosa.

6.2. Baccou. resultados de la investigación de laboratorio.

En la investigación del reactor Baccou a nivel de laboratorio se ha obtenido una eliminación de los microorganismos patógenos de origen fecal de cuatro unidades logarítmicas. Esto se observa en los datos recogidos del estudio de dicho prototipo durante el mes de mayo, en el que las condiciones meteorológicas son más adecuadas (entrada reactor $10E+5$ mg/L, salida reactor $10E+1$ mg/L).

Esta disminución de los patógenos es debida a los cambios producidos dentro del reactor: aumento significativo del pH, incidencia de la radiación UV, aumento de la concentración de oxígeno disuelto, aumento de la temperatura, etc.

Los requerimientos de diseño del reactor Baccou son:

- Tiempo de retención hidráulico (TRH).

- Carga volumétrica de materia orgánica que circula por el reactor. (C_v).
- Plástico para la cubierta adecuado para dejar pasar una radiación UV de 250-270 nm.

Las dimensiones del reactor son de 1 m de longitud (l) x 0.2 m de ancho (a) x 0.2 m de altura (h), por lo que el volumen del reactor es:

$$V = l \cdot a \cdot h = 0.04 \text{ m}^3$$

Se alimenta al reactor con un caudal de 13.3 l/día, y sabiendo que la concentración mínima de entrada al reactor es de 175 mg/L, se obtiene el TRH para que el sistema funcione correctamente y cumpla con la función requerida.

$$TRH = \frac{V}{Q} = 3 \text{ días}$$

Con los datos anteriores, obtenemos C_v :

$$C_v = \frac{\text{kg DBO/día}}{V}$$

$$175 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 13.3 \frac{\text{L}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} = 0.0023 \text{ kg/día}$$

$$C_v = 0.058 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{día}$$

El modelo piloto de reactor Baccou funciona con un TRH de 3 días y con una carga volumétrica de 0.058 kg/m³.día.

Con las conclusiones obtenidas de este modelo, se diseña y construye a escala real el reactor Baccou.

6.3. Baccou. construcción a escala real.

A partir de los datos obtenidos en la memoria de cálculo de la fosa y de las consideraciones descritas en la memoria descriptiva sobre el sistema fosa + Baccou, se obtienen los siguientes resultados para su puesta en marcha.

Las dimensiones del reactor Baccou construido en el Complejo Educativo Provincial Blanco White son 4 m de largo (l) x 2 m de ancho (a) x 0.4 m de altura (h), teniendo un volumen de:

$$V = l \cdot a \cdot h = 3 \text{ m}^3$$

Por lo que con ese volumen y una alimentación (caudal de entrada) de 1000 l/día, se obtiene un tiempo de retención hidráulico (TRH) de:

$$TRH = \frac{V}{Q} = 3 \text{ días}$$

Con estos datos y una concentración mínima de entrada al reactor de 175 mg/l, se calcula la carga volumétrica de materia orgánica en el reactor:

$$C_v = \frac{kg\ DBO/día}{V} = \frac{0.175\ kg/día}{3\ m^3} = 0.058\ kg/m^3 \cdot día$$

$$3\ m^3\ reactor \cdot \frac{0.058\ kg\ DBO}{m^3\ día} = 0.174\ kg\ DBO/m^3 \cdot día$$

$$0.174\ \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1\ m^3}{1000\ l} \cdot \frac{1000000\ mg}{1\ kg} = 174\ mg/l$$

Con estos datos se cumplen los requisitos legales para el funcionamiento del reactor Baccou, obteniéndose una reducción de 4 unidades logarítmicas en la eliminación de los microorganismos patógenos a la salida del reactor.

Esto es posible gracias a la desinfección que se produce dentro del reactor con el plástico que absorbe la radiación comprendida entre 250-270 nm, con esta longitud de onda la radiación UV tiene la capacidad de destruir los enlaces de ADN de casi todos los organismos vivos.

Para conseguir estos resultados debemos colocar un plástico con una densidad y espesor específicos para que la radiación UV sea capaz de llegar hasta el fondo del reactor (0.4 m de profundidad). El espesor de este tipo de plásticos se mide en micras o galgas, colocando en nuestro caso un plástico de 800 galgas (200 micras).

6.4. Huerta.

La huerta situada a la salida del reactor Baccou ha sido diseñada a partir de los datos obtenidos en la eliminación de patógenos (unidades logarítmicas) de dicho reactor.

Según la Ley 11/2005, de 22 de junio, para la reutilización de las aguas, debemos comprobar que los parámetros con los que vamos a alimentar nuestra huerta son válidos.

En la tabla 1 de la memoria descriptiva se muestra la reducción en 4 unidades logarítmicas del parámetro CF, siendo éste un requerimiento de la legislación vigente.

En el anexo I.A. de la legislación para la reutilización de aguas se establecen los criterios de calidad para la reutilización de aguas para uso agrícola.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS

USOS AGRÍCOLAS					
CALIDAD. Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 L.	100 UFC/100 mL. Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases con los siguientes valores: n=10. m=100 UFC/100 mL. M=1000 UFC/100 mL. c=3.	20 mg/L.	10 UNT.	Otros contaminantes contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Legionella spp: 1000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización). Es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1000.

Tabla 3: Criterios de calidad para la reutilización de las aguas.

n: número de unidades de la muestra.

m: valor límite admisible para el recuento de bacterias.

M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias.

c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

A partir de estas comprobaciones, se ha construido el huerto, en una parcela cercana al reactor Baccou con unas dimensiones de 3 m de largo x 3 m de ancho, en la que el cultivo prioritario ha sido guisantes.

7. IMPACTO AMBIENTAL.

Según el Real Decreto 153/1996, del 30 de Abril del Reglamento de Informe Ambiental, por la Ley 7/1994 de Protección Ambiental, dicho proyecto queda exento de redactar un informe de impacto ambiental, debido a que la autoconstrucción realizada en el Complejo

Educativo Provincial Blanco White no queda sometida al requisito de evaluación de Impacto Ambiental.

8. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

8.1. Objeto de estudio.

El presente Estudio de Seguridad y Salud pretende establecer, durante la ejecución de las obras del Diseño de sistema Baccou piloto para reutilización de aguas tratadas en agricultura, las previsiones necesarias para evitar riesgos de accidentes y enfermedades profesionales, así como las derivadas de los trabajos de reparación y mantenimiento. Además se fijan las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores.

El estudio tiene como finalidad fijar unas directrices que sirvan al Contratista para llevar a cabo las obligaciones en el campo de la prevención de riesgos profesionales en cumplimiento del Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se implanta la obligatoriedad de incluir un Estudio de Seguridad y Salud en los proyectos de construcción.

8.2. Prevención de riesgos profesionales.

8.2.1. Protecciones individuales.

Los Contratistas y subcontratistas, deberán atenerse a lo dispuesto en el Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo. “Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual”, en lo que se refiere a la elección, disposición y mantenimiento de los equipos de protección individual de que deberán estar provistos los trabajadores.

- **Protección de la cabeza:**

- Cascos de cabeza: Será preciso que todo el personal, incluidas las visitas, emplee cascos de seguridad que tendrán el ceñidor interior desmontable y adaptable a la cabeza del usuario, dispondrán de papada para evitar la caída en los trabajos que lo requieran.

- Protección de la cara:
 - Pantallas abatibles sujetas al casco.
 - Pantallas de mano.
- Protección del oído:
 - Cascos de protección auditiva.
- Protección de la vista:
 - Gafas de montura universal con oculares de protección contra impacto.
 - Pantallas normalizadas y homologadas para soldadores.
- Protección de las extremidades inferiores:
 - Botas dieléctricas.
 - Botas de cuero clase III, con puntera y plantilla de resistencia a la perforación.
- Protección de las extremidades superiores:
 - Guantes de goma o neopreno.
 - Guantes aislantes de la electricidad.
 - Guantes anticorte.
 - Guantes para soldador.
- Protección del aparato respiratorio:
 - Mascarilla de respiración antipolvo.
- Otros:
 - Manguitos para soldador.
 - Mandil para soldador.
 - Polainas para soldador.
 - Chaleco reflectante.

- Mono de trabajo.
- Impermeable.

8.2.2. Protecciones colectivas.

La señalización de Seguridad se ajustara a lo dispuesto en el RD 485/1997 del 14 abril y durante la ejecución del proyecto se dispondrán de:

- Vallas de limitación y protección.
- Señales de tráfico.
- Señales de seguridad.
- Señales acústicas y luminosas en la maquinaria
- Cinta de balizamiento.
- Barandillas.
- Redes con soportes y anclajes.
- Balizamiento luminoso.
- Extintores.
- Interruptores diferenciales para alumbrado y para fuerza.
- Tomas de tierra.
- Regado de pistas.
- Tubo de sujeción de cinturón de seguridad.

8.2.3. Prevención de riesgos a terceros.

Se señalizaran los accesos naturales en la obra y se prohibirá el paso a toda persona ajena, colocando los cerramientos necesarios.

La señalización será mediante:

- Avisos al público colocados perfectamente verticales y de acuerdo con su mensaje.

- Valla plástica para el acotado y limitaciones de paso de peatones y vehículos.

8.3. Disposiciones legales de aplicación.

Son de obligado cumplimiento las disposiciones contenidas en:

- Ley 31/1995 de 8 de noviembre, Prevención de riesgos laborales. B.O.E. de 10 de noviembre.
- Real Decreto 2413/1973, de 20 de septiembre. Reglamento electrónico de baja tensión. B.O.E. de 9 de octubre de 1973.
- Real Decreto 1495/1986, de 26 de mayo. Reglamento de seguridad en las maquinas. B.O.E. de 21 de julio de 1986.
- Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre. Protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. Reglamento de los Servicios de Prevención. BOE de 31 de enero.
- Real Decreto 485/1997, de 14 abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. B.O.E. de 23 de abril de 1997.
- Real Decreto 486/1997, de 14 abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. B.O.E. de 23 de abril de 1997.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores. B.O.E. de 23 de abril de 1997.
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. B.O.E. de 23 de abril de 1997.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipo de protección individual. B.O.E. de 12 de junio de 1997.

- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de equipos de trabajo. B.O.E. de 7 de agosto de 1997.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. B.O.E. de 25 de octubre de 1997.
- Orden Ministerial del 9 de marzo de 1971. Ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo. B.O.E. 16 y 17 de marzo de 1971. Capítulo VII.
- Orden Ministerial de 31 de Octubre de 1973. Instrucciones Complementarias denominadas Instrucciones MIBT, con arreglo a lo dispuesto en el Reglamento electrónico de baja tensión.
- Orden Ministerial de 23 de mayo de 1977. Reglamento de aparatos elevadores para obras. B.O.E. de 14 de junio de 1977.
- Orden Ministerial de 29 de noviembre de 1984. Manual de autoprotección para el desarrollo del Plan de Emergencia contra incendios y de evacuación en locales y edificios. B.O.E. de 26 de febrero de 1985.
- Estatuto de los trabajadores.

8.4. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Los Contratistas y subcontratistas, deberán atenerse a lo dispuesto en el Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre. "Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las Obras de Construcción"

8.4.1. Estabilidad y solidez.

a) Deberá procurarse, de modo apropiado y seguro, la estabilidad de los materiales y equipos y, en general, de cualquier elemento que en cualquier desplazamiento pudiera afectar a la seguridad y la salud de los trabajadores.

b) El acceso a cualquier superficie que conste de materiales que no ofrezcan una resistencia suficiente sólo se autorizará en caso de que se proporcionen equipos o medios apropiados para que el trabajo se realice de manera segura.

8.4.2. Vías y salidas de emergencia.

a) Las vías y salidas de emergencia deberán permanecer expeditas y desembocar lo más directamente posible en una zona de seguridad.

b) En caso de peligro, todos los lugares de trabajo deberán poder evacuarse rápidamente y en condiciones de máxima seguridad para los trabajadores.

c) El número, la distribución y las dimensiones de las vías y salidas de emergencia dependerán del uso, de los equipos y de las dimensiones de la obra y de los locales, así como del número máximo de personas que puedan estar presente en ellos.

d) Las vías y salidas específicas de emergencia deberán señalizarse conforme al Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Dicha señalización deberá fijarse en los lugares adecuados y tener la resistencia suficiente.

e) Las vías y salidas de emergencia, así como las vías de circulación y las puertas que den acceso a ellas, no deberán estar obstruidas por ningún objeto, de modo que puedan utilizarse sin trabas en cualquier momento.

f) En caso de avería del sistema de alumbrado, las vías y salidas de emergencia que requieran iluminación deberán estar equipadas con iluminación de seguridad de suficiente intensidad.

8.4.3. Exposición a riesgos particulares.

a) Los trabajadores no deberán estar expuestos a niveles sonoros nocivos ni a factores externos nocivos (por ejemplo, gases, vapores, polvo).

b) En caso de que algunos trabajadores deban penetrar en una zona cuya atmósfera pudiera contener sustancias tóxicas o nocivas, o no tener oxígeno en cantidad suficiente o ser inflamable, la atmósfera confinada deberá ser controlada y se deberán adoptar medidas adecuadas para prevenir cualquier peligro.

c) En ningún caso podrá exponerse a un trabajador a una atmósfera confinada de alto riesgo. Deberá, al menos, quedar bajo vigilancia permanente desde el exterior y deberán tomarse todas las debidas precauciones para que se le pueda prestar auxilio eficaz e inmediato.

8.4.4. Temperatura.

La temperatura debe ser la adecuada para el organismo humano durante el tiempo de trabajo, cuando las circunstancias lo permitan, teniendo en cuenta los métodos de trabajo que se apliquen y las cargas físicas impuestas a los trabajadores.

8.4.5. Iluminación.

a) Los lugares de trabajo, los locales y las vías de circulación en la obra deberán disponer, en la medida de lo posible, de suficiente luz natural y tener una iluminación artificial adecuada y suficiente durante la noche y cuando no sea suficiente la luz natural. En su caso, se utilizarán puntos de iluminación portátiles con protección antichoque. El color utilizado para la iluminación artificial no podrá alterar o influir en la percepción de las señales o paneles de señalización.

b) Las instalaciones de iluminación de los locales, de los puestos de trabajo y de las vías de circulación deberán estar colocadas de tal manera que el tipo de iluminación previsto no suponga riesgo de accidente para los trabajadores.

c) Los locales, los lugares de trabajo y las vías de circulación en los que los trabajadores estén particularmente expuestos a riesgos en caso de avería de la iluminación artificial deberán poseer una iluminación de seguridad de intensidad suficiente.

8.4.6. Vías de circulación y zonas peligrosas.

a) Las vías de circulación, incluidas las escaleras, las escalas fijas y los muelles y rampas de carga deberán estar calculados, situados, acondicionados y preparados para su uso de manera que se puedan utilizar fácilmente, con toda seguridad y conforme al uso al que se les haya destinado y de forma que los trabajadores empleados en las proximidades de estas vías de circulación no corran riesgo alguno.

b) Las dimensiones de las vías destinadas a la circulación de personas o de mercancías, incluidas aquellas en las que se realicen operaciones de carga y descarga, se calcularán de acuerdo con el número de personas que puedan utilizarlas y con el tipo de actividad. Cuando se utilicen medios de transporte en las vías de circulación, se deberá prever una distancia de seguridad suficiente o medios de protección adecuados para las demás personas que puedan estar presentes en el recinto. Se señalizarán claramente las vías y se procederá regularmente a su control y mantenimiento.

c) Las vías de circulación destinadas a los vehículos deberán estar situadas a una distancia suficiente de las puertas, portones, pasos de peatones, corredores y escaleras.

d) Si en la obra hubiera zonas de acceso limitado, dichas zonas deberán estar equipadas con dispositivos que eviten que los trabajadores no autorizados puedan penetrar en ellas. Se deberán tomar todas las medidas adecuadas para proteger a los trabajadores que estén autorizados a penetrar en las zonas de peligro. Estas zonas deberán estar señalizadas de modo claramente visible.

8.4.7. Espacio de trabajo.

Las dimensiones del puesto de trabajo deberán calcularse de tal manera que los trabajadores dispongan de la suficiente libertad de movimientos para sus actividades, teniendo en cuenta la presencia de todo el equipo y material necesario.

8.4.8. Primeros auxilios.

a) Será responsabilidad del empresario garantizar que los primeros auxilios puedan prestarse en todo momento por personal con la suficiente formación para ello. Asimismo, deberán adoptarse medidas para garantizar la evacuación, a fin de recibir

cuidados médicos, de los trabajadores accidentados o afectados por una indisposición repentina.

b) Cuando el tamaño de la obra o el tipo de actividad lo requieran, deberá contarse con uno o varios locales para primeros auxilios.

c) Los locales para primeros auxilios deberán estar dotados de las instalaciones y el material de primeros auxilios indispensables y tener fácil acceso para las camillas. Deberán estar señalizados conforme al Real Decreto sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo.

d) En todos los lugares en los que las condiciones de trabajo lo requieran se deberá disponer también de material de primeros auxilios, debidamente señalizado y de fácil acceso. Una señalización claramente visible deberá indicar la dirección y el número de teléfono del servicio local de urgencia.