



Estación Compacta de Tratamiento de Agua Potable

Diseño de Estación para su transporte en contenedor marítimo, para su posible uso en zonas de catástrofe naturales o en situaciones de emergencia

Cristina Catalán Pajares
Arturo Rueda Romero
Carlos Ruiz Torres
Tutor: David Casero Rodríguez
2012-2013

Índice

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	10
1.1. Introducción	10
1.2. Objetivos	11
2. ANTECEDENTES	12
2.1. El agua en situaciones de emergencia.	12
2.2. Vulnerabilidades y capacidades de las poblaciones afectadas por un desastre	14
2.2.1. Vulnerabilidad por desastres naturales	14
2.2.1.1. Localización de las personas afectadas por desastres naturales	15
2.2.2. Vulnerabilidad por conflictos armados	16
2.3. Protocolo general básico para la actuación en situaciones de emergencia	16
2.4. Importancia del agua en casos de emergencia	18
2.4.1. Cómo gestionar el agua tras una catástrofe. Métodos de potabilización empleados.	20
3. ESTUDIO TÉCNICO	25
3.1. Planta	25
3.2. Tratamientos	27
3.2.1. Eliminación de organismos patógenos	27
3.2.2. Eliminación de contaminantes químicos	29
3.2.3. Eliminación de turbidez	29
3.3. Agua	34
3.3.1. Agua bruta	34
3.3.1.1. Aguas superficiales	34
3.3.1.2. Aguas subterráneas	35
3.3.1.3. Aguas lluvia	35
3.3.2. Sistema de bombeo	35
3.3.3. Almacenamiento	35
3.3.3.1. Acceso al agua y cantidad disponible	36
3.3.4. Calidad del agua producto	37
3.3.4.1. Sabor	37
3.3.4.2. Turbidez	37

3.3.4.3.	Coliformes	38
3.4.	Contenedores	38
3.4.1.	Limitaciones (tamaño y transporte)	38
3.4.2.	Tratado TIR	39
3.5.	Comparación de soluciones	40
4.	ALTERNATIVA SELECCIONADA	44
4.1.	Diagrama proceso	44
4.2.	Descripción del método	44
4.2.1.	Pretratamiento físico	44
4.2.2.	Precloración	45
4.2.3.	Coagulación-Floculación	45
4.2.4.	Sedimentación	46
4.2.5.	Filtración	46
4.2.5.1.	Filtración con Sílex-Antracita	46
4.2.5.2.	Filtración con Carbón Activo	47
4.2.6.	Ultrafiltración	48
4.2.7.	Postcloración	48
4.3.	Diseño	49
4.3.1.	Dotación	49
4.3.2.	Equipos principales	50
4.3.2.1.	Decantador lamelar compacto	50
4.3.2.1.1.	Coagulador - Floculador	51
4.3.2.2.	Filtración de sílex -antracita	52
4.3.2.3.	Filtración de carbón activo	54
4.3.2.4.	Ultrafiltración compacta	55
4.3.3.	Equipos auxiliares	58
4.3.3.1.	Equipos de bombeo	59
4.3.3.1.1.	Motobomba	59
4.3.3.1.2.	Equipo de bombeo de presión	60
4.3.3.2.	Equipo electrógeno	61
4.3.3.3.	Conducciones de bombeo	63
4.3.3.3.1.	Conducción rígida	63
4.3.3.3.2.	Conducción semirrígida	64

4.4. Dosificación y almacenamiento de reactivos	64
4.4.1. Sulfato de aluminio	65
4.4.2. Almidón de patata	67
4.4.3. Hidróxido de calcio	68
4.4.4. Hipoclorito cálcico	69
4.5. Limitaciones a considerar	70
4.5.1. Altura	70
4.5.2. Peso	71
4.5.3. Superficie	73
5. ESTUDIO ECONÓMICO	74
5.1. Costes construcción	74
5.1.1. Coste equipos principales	74
5.1.2. Coste equipos auxiliares	75
5.1.3. Mangueras y uniones para el transporte del agua hasta la planta	76
5.1.4. Contenedor	76
5.1.5. Coste construcción final	77
5.2. Explotación y mantenimiento	78
5.2.1. Costes fijos	78
5.2.1.1. Personal	78
5.2.1.2. Establecimiento	79
5.2.1.3. Mantenimiento y conservación	80
5.2.1.4. Varios	81
5.2.1.5. Coste fijo total	81
5.2.2. Costes variables	82
5.2.2.1. Gasoil consumido	82
5.2.2.2. Reactivos	82
5.2.2.3. Transporte del contenedor por mar	83
5.2.2.4. Coste variable total	83
5.2.3. Costes totales de explotación	84
6. CONCLUSIONES	86
7. ANEXOS	87
Anexo I. Distribución de la estación	87

Anexo II. Calidad y cantidad aguas abastecimiento:	88
Anexo III. Posibles situaciones en las que utilizar plantas compactas puede ser útiles según la AECID 89	
8. BIBLIOGRAFÍA	91
8.1. Fuentes de información	91
8.2. Referencias	92

Índice de tablas

Tabla 2.1. Efectos de los desastres naturales.....	14
Tabla 3.1. Necesidades básicas de agua para asegurar la supervivencia.....	36
Tabla 3.2. Producción de agua a una población de 5.000 habitantes.....	37
Tabla 3.3. Características del contenedor “TIR 40 Double Door-Open Side”.....	39
Tabla 3.4. Comparativa en tratamientos de desinfección.....	41
Tabla 3.5. Comparativa en tratamientos de sedimentación.....	41
Tabla 3.6. Comparativa en tratamientos de filtración en superficie.....	42
Tabla 3.7. Comparativa en tratamientos de filtración con lecho.....	42
Tabla 4.1. Estudio de dotación.....	49
Tabla 4.2. Parámetros de diseño del decantador.....	50
Tabla 4.3. Parámetros de diseño del sistema coagulador-floculador.....	52
Tabla 4.4. Parámetros de diseño del sistema filtro sílex antracita.....	53
Tabla 4.5. Parámetros de diseño del sistema de filtración carbón activo.....	54-55
Tabla 4.6. Parámetros de diseño del sistema de ultrafiltración.....	56
Tabla 4.7. Parámetros máximos de calidad permitidos en el sistema de ultrafiltración.....	58
Tabla 4.8. Características de la motobomba.....	59
Tabla 4.9. Características y presiones de trabajo del equipo de bombeo de presión.....	60
Tabla 4.10. Calculo de la potencia del equipo electrógeno.....	61
Tabla 4.11. Características del equipo electrógeno.....	62
Tabla 4.12. Reactivos a utilizar, concentración y uso.....	65
Tabla 4.13. Datos y diseño del equipo de dosificación del sulfato de aluminio.....	66
Tabla 4.14. Datos y diseño del equipo de dosificación del almidón de patata.....	67
Tabla 4.15. Datos y diseño del equipo de dosificación del hidróxido de calcio.....	68-69
Tabla 4.16. Datos y diseño del equipo de dosificación del hipoclorito cálcico.....	69-70

Tabla 4.17. Peso de los equipos principales	71
Tabla 4.18. Peso de los equipos auxiliares	71
Tabla 4.19. Peso de los reactivos almacenados	72
Tabla 4.20. Peso de otros equipos	72
Tabla 4.21. Peso total del grupo de equipos	72
Tabla 5.1. Coste de los equipos principales	74
Tabla 5.2. Coste de los equipos auxiliares	75
Tabla 5.3. Coste de las mangueras y uniones para el transporte de agua	76
Tabla 5.4. Coste del contenedor	76
Tabla 5.5. Costes del personal	78
Tabla 5.6. Costes del establecimiento	79
Tabla 5.7. Costes de mantenimiento y conservación	80
Tabla 5.8. Costes varios	81
Tabla 5.9. Costes del gasoil consumido	82
Tabla 5.10. Costes de los reactivos	82

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.1. Mapa de acceso seguro al agua	10
Ilustración 2.1. Causas de un desastre	12
Ilustración 2.2. Frecuencia y tipo de desastres en los últimos años	13
Ilustración 2.3. Número de afectados por desastres	15
Ilustración 2.4. Número de fallecidos por conflictos armados	16
Ilustración 2.5. Esquema de la planificación básica que se debe seguir	17
Ilustración 2.6. Número de muertes infantiles por enfermedad	19
Ilustración 2.7. Filtro domiciliario de agua	20
Ilustración 2.8. Contenedor de agua	20
Ilustración 2.9. Llenado de tanques con camiones cisterna	21
Ilustración 2.10. Ejemplo de utilización de la “Pajita purificadora”	22
Ilustración 2.11. Tanque flexible burbuja/blader, tanques OXFAM y sedimentación asistida “BATCH”	22
Ilustración 2.12. Filtro rápido de arena	23
Ilustración 2.13. Ejemplo de potabilizadora transportable	24
Ilustración 3.1. Tipos de filtración	32
Ilustración 3.2. Modelos de contenedores TIR 40 Pies, Contenedor “Double Door” y Contenedor “Open Side”	39
Ilustración 4.1. Proceso de tratamiento	44
Ilustración 4.2. Sedimentador lamelar compacto	51
Ilustración 4.2. Sistema Coagulador - Floclador	52
Ilustración 4.3. Planta compacta de ultrafiltración	56
Ilustración 4.4. Motobomba de agua superficial	59
Ilustración 4.5. Tubería rígida de PVC	63
Ilustración 4.6. Tubería semirrígida de PVC y uniones	64

Ilustración 4.7. Jar Test	66
Ilustración 4.8. Relación entre pH y cantidad de coagulante	68
Ilustración 5.1. Porcentajes de costes de equipos principales	74
Ilustración 5.2. Porcentajes de costes de equipos auxiliares	75
Ilustración 5.3. Porcentajes de costes de construcción	77
Ilustración 5.4. Porcentajes de costes de construcción por apartados	77
Ilustración 5.5. Porcentaje de costes fijos	81
Ilustración 5.6. Porcentaje de costes variables	83
Ilustración 5.7. Porcentaje de costes de explotación	84
Ilustración 5.8. Porcentajes de costes de explotación por apartados	85

1. Introducción y objetivos

1.1. Introducción

El agua es un recurso caracterizado por ser escaso, irremplazable y necesario para la subsistencia del ser humano.

A lo largo de la historia el progreso de los pueblos ha estado estrechamente vinculado con el agua afectando al desarrollo socioeconómico, cultural, etc. En las últimas décadas, esta relación ha adquirido mayor influencia en muchos puntos del globo debido al incremento en la frecuencia de desastres naturales y los conflictos armados; provocando numerosos daños, tanto humanos como materiales, que ralentizan su crecimiento.

La mayoría de países desarrollados presentan una mayor resistencia frente a estos fenómenos, sin embargo, en los países menos adelantados la falta de acceso a agua potable y a sistemas de saneamiento es una limitación fundamental para su desarrollo al mostrar una menor resiliencia.

Actualmente, al menos 880 millones de personas no tienen acceso al agua potable. En la Ilustración 1.1 se muestra la proporción de personas que no tienen acceso seguro al agua potable, según su localización geográfica. En África Subsahariana se concentra el 37% de la población sin acceso al agua, en Asia Meridional el 25% y en Asia Oriental el 17%

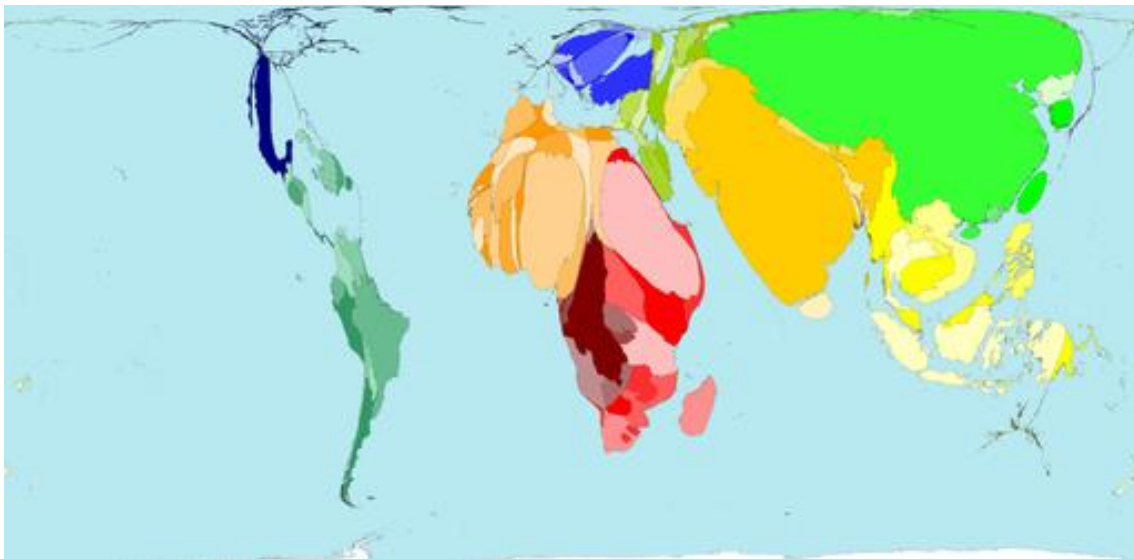


Ilustración 1.1. Mapa de acceso seguro al agua (Fuente: www.worldmapper.org)

Existen muchos países en vías de desarrollo que no pueden hacerles frente a estos desastres, por lo que precisan la ayuda de otros estados u organizaciones no gubernamentales. Entre las medidas de ayuda, se encuentra el traslado y creación de centros de abastecimiento portátiles, que se encarguen de tratar el agua bruta más cercana, tratarla y ofrecerla de un modo directo a la población afectada.

Uno de los ejemplos más representativos a nivel internacional son los módulos transportables de la Unidad Respuesta Emergencia para Agua y Saneamiento de la Cruz Roja (ERU (WAT - SAN)¹); los cuales son capaces de potabilizar, almacenar y distribuir hasta 225.000 litros de agua al día; consiguiendo abastecer a una población de 15.000 personas con un agua de alta calidad durante tres meses. Gracias a esto han conseguido responder algunos de los desastres como:

- Huracán Mitch (Centroamérica) en octubre de 1998.
- Inundaciones en Mozambique, en febrero 2000, marzo 2001 y febrero 2007.
- Tsunami de Indonesia, en diciembre de 2004.
- Inundaciones en Paquistán, en julio de 2007.
- Terremoto de China, en mayo de 2008.

1.2. Objetivos

Se marca como meta la obtención de un nuevo diseño de una planta de tratamiento portátil para abastecer a una población en situación de emergencia.

Los objetivos específicos son:

- Determinar el proceso de tratamiento de agua más rápido, económico y eficiente.
- Diseño de la planta de tratamiento.
- Instalación de la planta de tratamiento en un contenedor TIR 40.
- Generación de un volumen de agua capaz de abastecer a una población de 5.000 personas

2. Antecedentes

2.1. El agua en situaciones de emergencia.

¿Qué se entiende por situación de emergencia?

Para saber si realmente un hecho necesita de ser tratado como una situación de emergencia gran cantidad de ONG's utilizan la siguiente definición:

“Donde y cuando un desastre provoca una inmediata, excepcional y generalizada amenaza para la vida, la salud o la subsistencia básica, desbordándose la capacidad local de respuesta, y habiendo necesidad de asistencia externa.”

Además se deben tener en cuenta otros aspectos como por ejemplo si la seguridad y accesibilidad del equipo de trabajo y su material son aceptables y si existe un riesgo real para la población afectada y además no pueden enfrentarse a la magnitud del desastre.

Si las condiciones enunciadas anteriormente se cumplen y realmente se ha producido una situación de emergencia se debe comenzar cuantos antes con las actividades de ayuda humanitaria, siendo una de las más importantes el suministro de agua potable a la población afectada.

La actuación sobre situaciones de emergencia se trata de algo muy complejo, ya que normalmente se combinan varios factores como grandes catástrofes naturales, destrucción de las infraestructuras básicas, el hundimiento de la economía y estructuras estatales, conflictos civiles, hambrunas, crisis sanitarias o éxodo de la población.

El siguiente esquema muestra las posibles causas desencadenantes de un desastre (*Ilustración 2.1*):

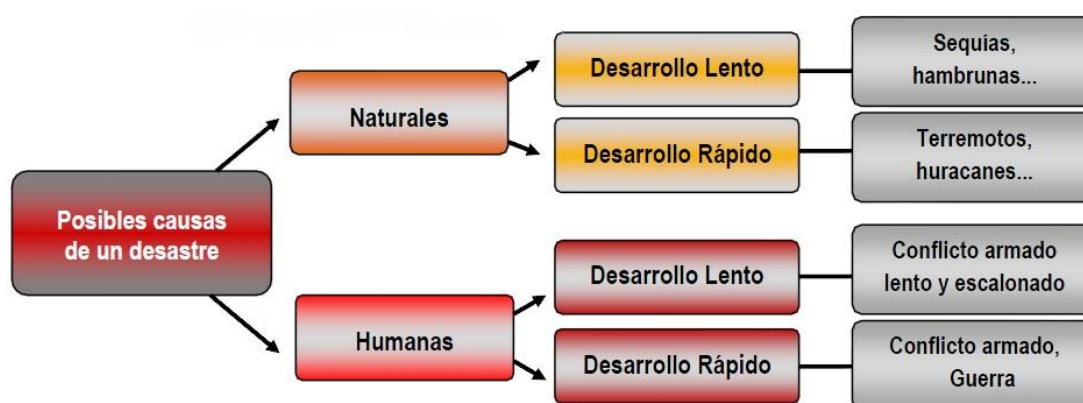


Ilustración 2.1. Causas de un desastre. (Fuente Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias Ministerio de Asuntos Exteriores y cooperación y AECID, 2012)

Como se puede observar en la *Ilustración 2.1* existen dos tipos principales desencadenantes de una situación de emergencia: naturales y humanas. Ambas pueden ser de desarrollo lento o rápido. Estas características van a influenciar en gran medida el tipo de actuaciones a realizar, así como la posibilidad de realizarse (si se va a obtener ayuda del gobierno del estado afectado o por el contrario va a complicar las cosas) y del tiempo de respuesta que se tiene para llevar a cabo la actuación.

Cabe destacar que en los últimos años se visto aumentado tanto el número como la gravedad y el impacto de los desastres. Esto se ha producido por factores como el cambio climático, la urbanización masiva sin planificación, el rápido crecimiento de la población o la degradación ambiental. En la última década se ha observado un aumento del 60% en las catástrofes, siendo la mayoría de ellas relacionadas con la meteorología.

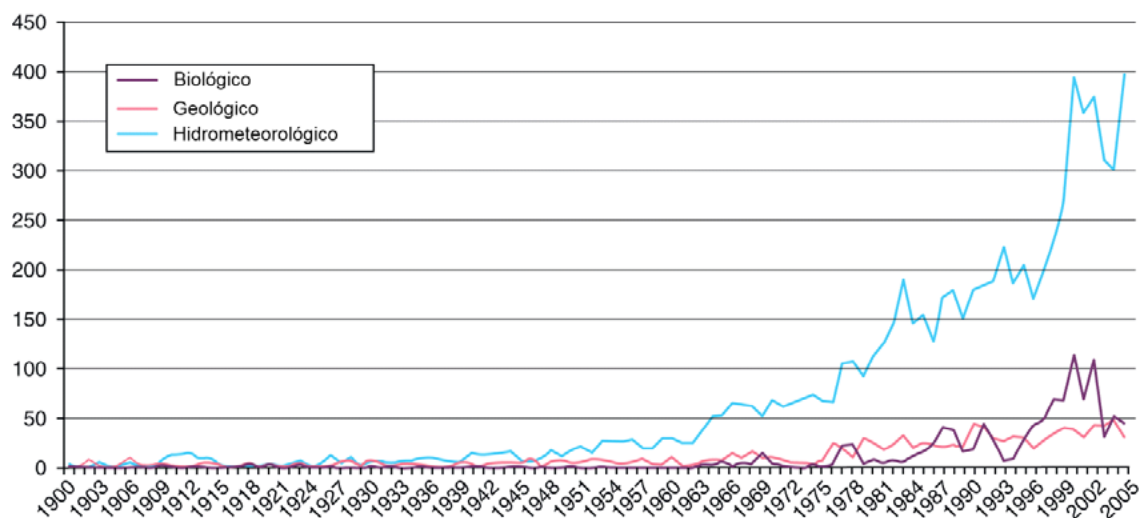


Ilustración 2.2. Frecuencia y tipo de desastres en los últimos años.

(Fuente Agua y Cooperación, Primera parte: Agua)

En la *Ilustración 2.2* se puede observar cómo han aumentado de manera significativa los desastres naturales tanto hidrometeorológicos como biológicos y geológicos sobre todo a partir de la década de los cincuenta. Especial importancia se observa en los desastres hidrometeorológicos, donde su frecuencia ha aumentado de manera exponencial en los últimos cincuenta años llegando en 2005 a aproximadamente 400 casos.

Dentro de los desastres de carácter meteorológico tienen especial importancia los relacionados con el agua, ya que son los más abundantes y los que más necesidades de asistencia necesitan. Por poner un ejemplo entre 1970 y 2008 el 80% de las personas que habitaron en África se vieron afectadas por la sequía.

2.2. Vulnerabilidades y capacidades de las poblaciones afectadas por un desastre

La relación entre los desastres y la vulnerabilidad de las personas viene definida por tanto por el riesgo a la que se encuentran expuestas. Es decir, la probabilidad de que un determinado sistema o población resulte afectados por los desastres naturales.

$$\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} \times \text{Peligro}$$

De manera que el término Peligro hace referencia al fenómeno, mientras que la vulnerabilidad a la susceptibilidad de una población o un sistema a los efectos del peligro (por ejemplo, en nuestro caso los sistemas de abastecimiento de agua y de alcantarillado u otros aspectos de la infraestructura).

2.2.1. Vulnerabilidad por desastres naturales

En la tabla se resumen los principales efectos a corto plazo de los grandes desastres naturales sobre las infraestructuras de abastecimiento. Como se muestra, la mayoría de desastres naturales ocasionan graves efectos excepto las inundaciones, que precisamente son los desastres más comunes en el planeta.

Efecto	Terremotos (sin inundación)	Vientos huracanados	Maremotos e inundaciones repentinas	Inundaciones progresivas	Aludes	Volcanes y torres de barro
Defunciones ^a	Muchas	Pocas	Muchas	Pocas	Muchas	Muchas
Lesiones graves que requieren tratamientos complejos	Muchas	Moderadas	Pocas	Pocas	Pocas	Pocas
Mayor riesgo de enfermedades transmisibles	Riesgo potencial después de cualquier gran desastre natural: la probabilidad aumenta en función del hacinamiento y el deterioro de la situación sanitaria					
Daños de los establecimientos de salud	Graves (estructura y equipos)	Graves	Graves pero localizados	Graves (solo los equipos)	Graves pero localizados	Graves (estructura y equipos)
Daños de los sistemas de abastecimiento de agua	Graves	Leves	Graves	Leves	Graves pero localizados	Graves
Escasez de alimentos	Infrecuente (suele producirse por factores económicos o logísticos)		Común	Común	Infrecuente	Infrecuente
Grandes movimientos de población	Infrecuentes (suelen ocurrir en zonas urbanas que han sido dañadas gravemente)		Comunes (generalmente limitados)			

Tabla 2.1. Efectos de los desastres naturales

2.2.1.1. Localización de las personas afectadas por desastres naturales

En el próximo gráfico se muestran los lugares del mundo donde se concentran los desastres naturales.

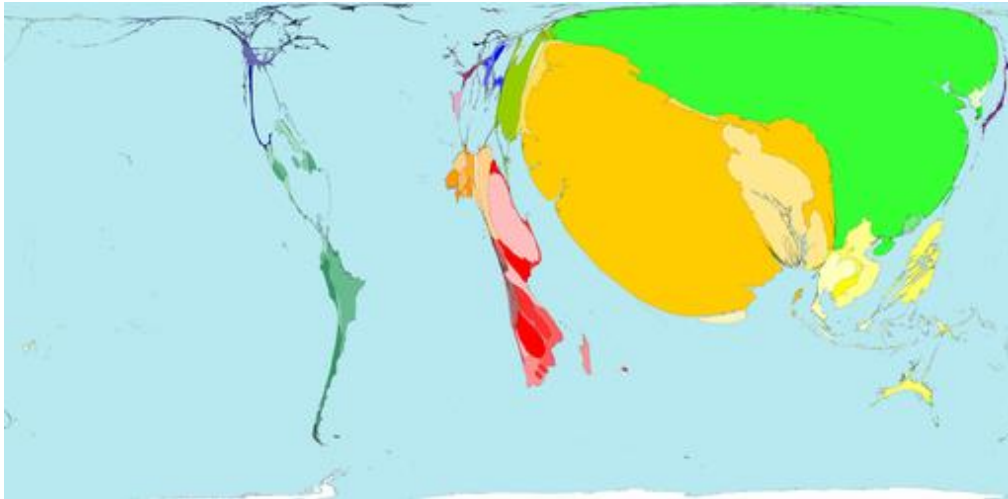


Ilustración 2.3. Número de afectados por desastres (Fuente: www.wordmapper.com)

El tamaño del territorio muestra la proporción de todas las personas afectadas por desastres entre 1975 y 2004 que viven allí. Entendiendo por personas afectadas a aquellas que necesitan asistencia de emergencia para la supervivencia básica.

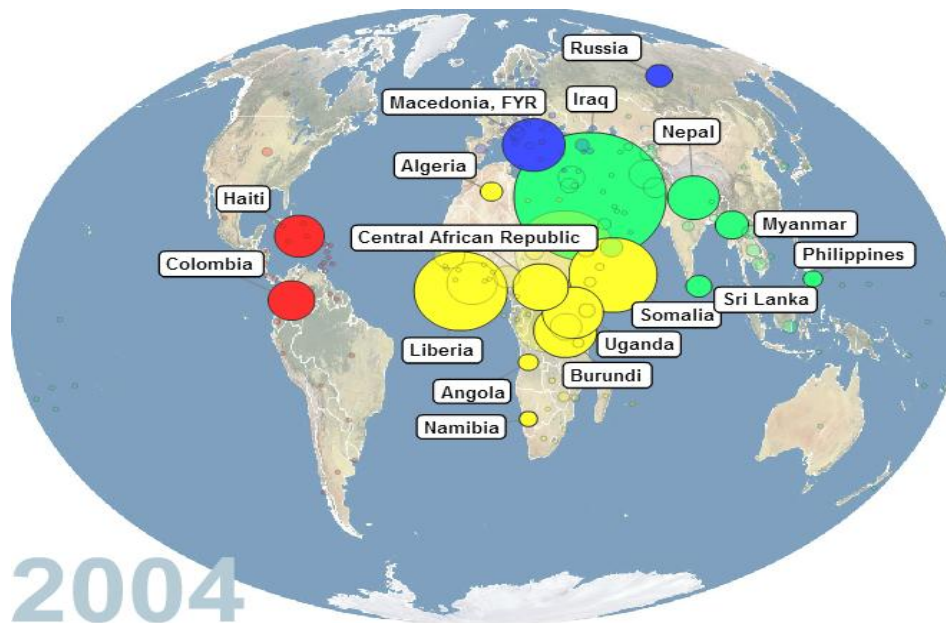
De todas las personas afectadas por desastres entre 1975 y 2004, el 43% vive en el sur de Asia, el 41% vive en Asia del Este, y el 5% vive en el sureste de África.

Los sistemas de abastecimiento de agua potable son especialmente vulnerables a los desastres naturales debido a que su destrucción no solo afectaría al sistema de abastecimiento sino también la presencia de riesgos sanitarios, es decir, cuando el agua potable se contamina como resultado de un desastre, el riesgo de que la población contraiga enfermedades aumenta y la higiene se deteriora rápidamente.

A menudo resulta difícil valorar las consecuencias indirectas para la salud, y el costo de la reparación del sistema es en general muy elevado. Por ejemplo, los efectos del fenómeno *El Niño* entre 1997 y 1998 dejaron sin agua durante tres meses a la población de Manta, Ecuador. El costo de reparación de la infraestructura dañada superó los 600.000 \$ y las pérdidas sufridas por los responsables del abastecimiento de agua por facturas no pagadas llegaron a 700.000 \$.

2.2.2. Vulnerabilidad por conflictos armados

El efecto de los conflictos armados sobre los sistemas de abastecimiento de agua es evidente. En multitud de ocasiones las infraestructuras del agua estos se convierten en objetivos de guerra causando daños incalculables tanto materiales y humanos como sanitarios.



*Ilustración 2.4. Número de fallecidos por conflictos armados
(Fuente: www.gpminder.org)*

El tamaño del círculo muestra la proporción de muertes en todo el mundo directamente atribuidos a la guerra o el conflicto que ocurrió hasta 2004 en los territorios señalados. En los últimos tiempos, la naturaleza de los conflictos armados ha cambiado mucho, y el número de grupos armados ha aumentado considerablemente, ha podido comprobarse en el terreno en las graves crisis que se produjeron en Afganistán en 2001, en Irak en 2003 y en Líbano en 2006, o más recientemente, en Sri Lanka, Filipinas, los territorios palestinos ocupados, Yemen y Pakistán (2008-2009).

2.3. Protocolo general básico para la actuación en situaciones de emergencia

En un primer momento se necesita una petición previa de ayuda humanitaria por parte de los países afectados o de las naciones unidas. En ese momento las ONG's recaban información sobre el país afectado y el suceso ocurrido recurriendo a los organismos de cooperación, embajadas u organizaciones que se encuentren ya en el terreno. Esta información debe ser utilizada para realizar una valoración rápida de las verdaderas necesidades de la población afectada. Se deben conocer aspectos como la disponibilidad de agua, necesidades de

Antecedentes

saneamiento básico, circunstancias y actitudes higiénicas de la población afectada, posibles enfermedades endémicas de la zona... También es importante conocer características básicas de la propia zona afectada como geografía, clima, organización social y política, actividades económicas de la región, planes de emergencia ya existentes y otros elementos como materiales disponibles, experiencias previas, etc.

Para la recopilación de toda esta información se puede utilizar tanto fuentes directas como indirectas. Respecto a las fuentes directas se suelen utilizar vuelos sobre la zona, mediciones hechas sobre el terreno, entrevistas con las personas afectadas (sobre todo con grupos de interés como mujeres, ancianos, maestros o personal sanitario) o que lleven trabajando más tiempo en la zona. Como fuentes indirectas aparecen documentos, informes o mapas existentes de la zona del desastre, informes de evaluación rápida de otras organizaciones, etc.

Tras esto se procede a realizar un análisis de las necesidades no cubiertas, como por ejemplo necesidades de agua para las personas, hospitales, ganado o infraestructuras, necesidades de infraestructuras básicas, materiales necesarios, personal cualificado, alimentos, material y equipos básicos...

En el siguiente esquema se especifica una planificación de la valoración rápida respecto al tiempo que se debe emplear:

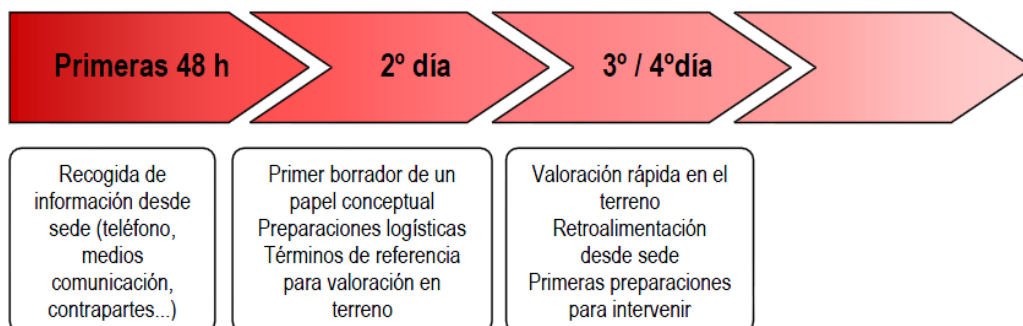


Ilustración 2.5. Esquema de la planificación básica que se debe seguir (Fuente Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias. Ministerio de Asuntos Exteriores y cooperación y AECID, 2012)

En la ilustración 2.5 se observa como durante las primeras horas se debe recoger toda la información posible desde la sede de la organización. En ese momento deben establecerse (o tener ya preestablecidos) equipos de trabajo para ser movilizados a la zona. Una vez en la zona se realiza la valoración sobre el terreno y las primeras intervenciones. Cabe destacar que, previa a cualquier intervención, debe haberse hecho un análisis lo más completo posible contando con la limitación de tiempo que se tiene en estas situaciones, además de un plan de

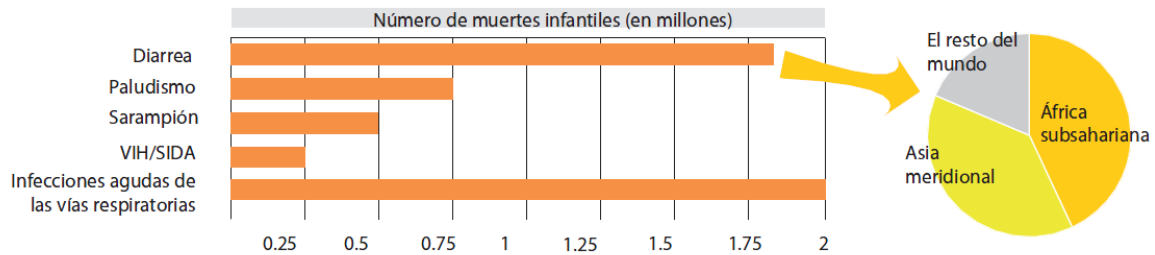
trabajo básico que incluya unos objetivos precisos y una línea base de trabajo donde se determine que personas van a trabajar, dónde y en qué momento.

2.4. Importancia del agua en casos de emergencia

Numerosas cumbres y reuniones internacionales son las que han establecido como un derecho fundamental el acceso al agua potable y al saneamiento, como por ejemplo las resoluciones del Consejo de Derechos Humanos, cumbres de Naciones Unidas, Declaración Universal de Derechos Humanos, Pactos internacionales sobre derechos Económicos, Sociales y Culturales etc. Finalmente el 28 de julio de 2010 a través de la resolución 64/292 la asamblea general de Naciones Unidas “*Declara el derecho al agua potable y el saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos*” y además incita a los Estados y organizaciones internacionales que ayuden con sus recursos financieros y a través de la transferencia de tecnología por medio de asistencia y cooperación internacional a conseguir dotar a toda la población de un acceso al agua potable (y saneamiento). Esto explica la necesidad e incita a la ayuda en caso de emergencia de, con las capacidades del mundo desarrollado, conseguir dotar de agua potable cuanto antes a las zonas afectadas por una catástrofe con la finalidad de que el derecho reconocido de tener acceso al agua potable se vea vulnerado el menor tiempo posible.

Dentro del contexto al que se tienen que enfrentar las ONG´s durante las tareas de acción humanitaria prevalece las situaciones en las que se ve favorecida la propagación de enfermedades infecciosas. En situaciones de emergencia la gente posee un mayor riesgo a las infecciones, ligado a las malas condiciones higiénicas en las que se encuentran (sin sistemas de abastecimiento o saneamiento adecuadas) o a la exposición de nuevos patógenos (por la aparición de nuevos vectores de contaminación). Además la gente suele estar bajo otros importantes factores de riesgo ya antes de la catástrofe, como malas condiciones de vivienda, saneamiento, higiene y abastecimiento de agua, gran densidad de población, inseguridad socio-económica, malnutrición...

Las enfermedades relacionadas con el agua están entre las que más muertes y enfermos causan al año. Las enfermedades diarreicas matan a más de un millón y medio de personas todos los años (*Ilustración 2.6*), siendo la segunda mayor causa de muerte del mundo tras las enfermedades infecciosas pulmonares. La mayoría de las personas que mueren por este tipo de enfermedades provienen de países subdesarrollados, siendo la población más afectada la correspondiente a niños menores de cinco años. La malaria es la mayor causa de mortalidad y morbilidad en muchas partes del planeta. Otras enfermedades relacionadas con la falta de agua potable, higiene y saneamiento son, por ejemplo, el *Chagas*, el gusano de Guinea, la fiebre amarilla, la fiebre de *Lassa*...



*Ilustración 2.6. Número de muertes infantiles por enfermedad.
(Fuente El agua, un derecho en un mundo desigual. UNDP)*

Teniendo en cuenta estas condiciones tan precarias es necesario incluir y documentar en las estrategias médicas establecidas ante una catástrofe los problemas y las actividades realizadas para combatir estas enfermedades infecciosas.

Como objetivo principal se debe incluir reducir la mortalidad y morbilidad de dichas enfermedades y para lograrlo es muy importante contar con campañas de saneamiento, higiene y abastecimiento de agua. Estas campañas actúan sobre todo cortando las rutas de transmisión y eliminando los focos de contaminación.

Cabe destacar que existen cuatro grupos de enfermedades relacionadas con el agua:

- Enfermedades con origen en el agua, como el Cólera, la Fiebre Tifoidea o la Diarrea. Se trata de enfermedades infecciosas distribuidas por agua potable contaminada.
- Enfermedades lavadas por el agua, como infecciones y males por falta de higiene y saneamiento.
- Enfermedades con base en el agua, como las transmitidas por un organismo invertebrado con vida acuática (*Esquistosomiasis* o *Bilharziasis*).
- Enfermedades con origen vectorial, como la Malaria, Fiebre Amarilla, Encefalitis japonesa... las cuales se transmiten por un insecto el cual depende del agua para su propagación.

Las razones por las cuales se produce una alta frecuencia de estas enfermedades se deben a unas condiciones inadecuadas de aprovisionamiento de agua, mala gestión de desechos, ausencia de condiciones higiénicas...

Por todo ello, durante una situación de emergencia cabe tener muy en cuenta ya no solo la necesidad de dotar a la población de agua lo más rápidamente posible, sino además garantizar que la calidad de dicha agua sea la adecuada para evitar la rápida propagación de las enfermedades citadas anteriormente y sus terribles consecuencias. La propuesta de diseño

de una planta potabilizadora de emergencia está enfocada en la resolución de los problemas de cantidad y calidad de agua en el menor tiempo posible.

2.4.1. Cómo gestionar el agua tras una catástrofe. Métodos de potabilización empleados.

Tras una catástrofe y una vez movilizados los equipos de actuación es necesario tomar las decisiones sobre qué tipo de sistema de potabilización se va a emplear. Esta decisión depende tanto de los equipos que disponga la propia organización como de la población a tratar o de las disponibilidades de agua bruta de la zona.

Respecto a los diferentes métodos de abastecimiento de agua potable en casos de emergencia se encuentran:

- **Filtros domiciliarios de agua:** son el método más sencillo y directo para satisfacer rápidamente las demandas de una población que se vea periódicamente afectada por cortes en el suministro de agua potable. Por este método es la opción en la que se decantan un grupo reducido de personas, presenta los inconvenientes de que:
 - Satisface exclusivamente las necesidades del agua de beber, excluyendo las necesidades higiénicas.
 - Es necesario un considerable número de unidades para abastecer las necesidades de una población, ya que un único filtro solo es capaz de abastecer a un número reducido de miembros de una misma familia.



Ilustración 2.7. Filtro domiciliario de agua

- **Contenedores de agua:** útiles para el transporte y almacenamiento domiciliario de agua realizado por los propios usuarios finales. Estos contenedores son fácilmente manejables por los materiales ligeros de los que están compuestos y por los sistemas que poseen para ser transportados en remolques o dentro de los propios vehículos. Los fabricantes oscilan los volúmenes de éstos entre 100 a 1000 litros, cubriendo las necesidades mínimas diarias del agua. Presenta el inconveniente de que el propio usuario se ve en la necesidad de poseer



Ilustración 2.8. Contenedor de agua

un vehículo propio para transportar el agua necesitada a su propio domicilio, teniéndose que desplazar a la fuente de agua potable más cercana.

- **Camiones cisterna:** se encargan de distribuir agua ya preparada para el consumo a puntos estratégicos o tanques en los núcleos de población afectados por un desastre. Los inconvenientes que presenta este caso son:

- El vehículo debe tener cerca una fuente de agua tratada para abastecer a la población del modo más rápido posible.
- Periódicamente la cisterna debe de ser analizada y limpiada ante la posibilidad de evitar cualquier



Ilustración 2.9. Llenado de tanques con camiones cisterna

riesgo de transmisión de contaminación o enfermedades asociadas al agua.

- Este método en algunos países ha generado polémica por el comercio del agua en caso de necesidad.
-
- **Pajitas purificadoras de agua:** consiste en un tubo que al succionar el agua para consumirla esta traspasa una serie de filtros llegándose según el fabricante a un 99,99% de eliminación de bacterias. Estos filtros contienen por ejemplo yodo para matar a las bacterias o carbón activo para mejorar el sabor del agua. Las principales ventajas que presenta son:

- Elimina un altísimo porcentaje de microorganismos, dándole al agua una gran calidad.
- Son fáciles de transportar, ya que tanto el peso como el volumen por unidad es muy reducido (su peso no supera los 100 gramos).
- Permite dar uno de estos sistemas a cada persona y que pueda obtener agua potable en cualquier momento y ante cualquier circunstancia.

Como principales inconvenientes hay que destacar:

- Posee un alto precio, llegándose a unos 3,5 euros por unidad.
- Su periodo de vida está calculado para tratar aproximadamente 700 litros. Es muy difícil llevar un cálculo preciso de esta cantidad, incurriéndose en un peligro para la salud si se sigue usando este sistema cuando ya no es viable.

- No evita el contacto con vectores de transmisión de enfermedades, ya que es común el hecho de tener que entrar dentro de la masa de agua o de estar en contacto con la misma para poder beber, como se observa en la *Ilustración 2.10*.



Ilustración 2.10. Ejemplo de utilización de la "Pajita purificadora"

- **Sedimentación asistida "BATCH"**: es uno de los métodos que más se utilizan en los países subdesarrollados al captar y tratar el agua "in situ" para abastecer de un modo más cercano a la población.

Este método consiste en el bombeo de agua bruta con una motobomba, la cual es inicialmente tratada con una solución floculante para favorecer la sedimentación de las partículas y compuestos. Tras la etapa de sedimentación se procede a añadir una dosis de cloro para eliminar los patógenos que puedan afectar a los consumidores, acabando el agua en unos tanques de distribución desde los cuales los usuarios pueden disponer cómodamente de ella.

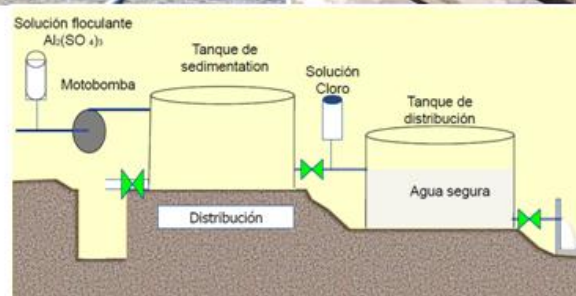


Ilustración 2.11. Tanque flexible burbuja/bladder (izquierda), tanques OXFAM (derecha) y sedimentación asistida "BATCH" (central)

En este método se emplean diferentes tanques de sedimentación, desde tanques flexibles “burbuja/bladder”, pasando por tanques “onion”, hasta llegar a los tanques cubiertos prefabricados “OXFAM”.

Este procedimiento posee la ventaja que puede operar de un modo rápido y continuo. Presenta el inconveniente que los diferentes tanques, debido de su peso y/o superficie que abarcan, deben de estar estratégicamente colocados; así mismo debe seguir un control de la solución de cloro, ya que puede provocar problemas gastrointestinales y de sabor.

- **Unidad de tratamiento MSF-B:** este tratamiento de agua emplea como fase clave un filtro rápido de arena, el cual también se emplea en algunas de las estaciones de tratamiento de agua potable. En este proceso se realiza una coagulación-floculación y posteriormente se emplea una arena relativamente gruesa junto a otro tipos de partículas granulares para eliminar así todas las impurezas que en la floculación previa tiene lugar.

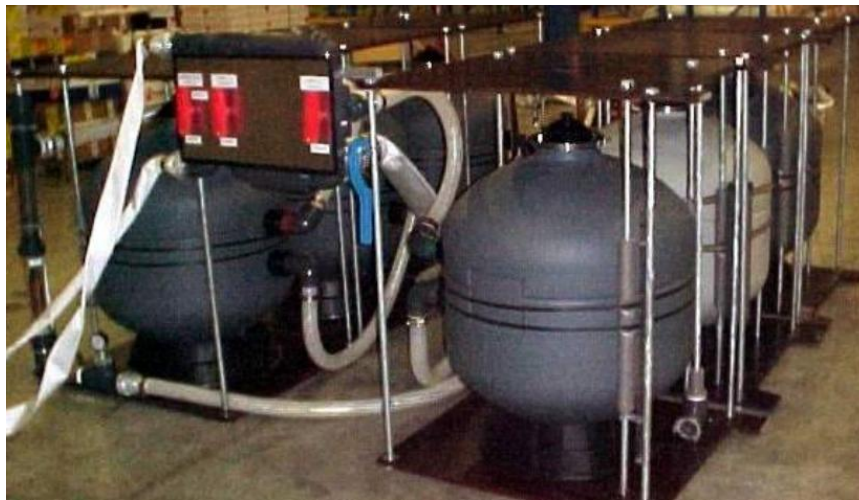


Ilustración 2.12. Filtro rápido de arena

Posee la ventaja de que trata cómoda y eficazmente un agua de calidad media-alta. Este tratamiento tiene el inconveniente que necesita mayor potencia por parte de las bombas de toma de agua inicial y bombas en el filtro de rápido de arena.

- **Plantas portátiles de emergencia.** Siendo una propuesta de diseño de este tipo de plantas el objeto que ocupa este proyecto, permiten establecer de manera rápida un sistema de tratamiento de agua. Como principales desventajas se pueden determinar unas necesidades energéticas, de reactivos o de mayor personal formado que el resto

de los sistemas, además de tener que disponer de una fuente de agua bruta cerca de donde se va a disponer la planta. También hay que contar con el alto coste que supone su construcción. Como gran ventaja aparece el hecho de poder tratar gran cantidad de agua de manera continua y en poco tiempo. También es importante mencionar la capacidad de tratar agua bruta en peores condiciones que el resto de sistemas ya que este tipo de plantas utilizan procesos mucho más específicos y avanzados de filtrado y afino que el resto.



Ilustración 2.13. Ejemplo de potabilizadora transportable

3. Estudio técnico

3.1. Planta

Como ya se ha comentado, numerosos instrumentos jurídicos internacionales apoyan como un derecho fundamental de cualquier persona el derecho al agua y al saneamiento. Esto implica que en una situación de emergencia en la que dicho derecho se vea afectado, es necesario poder volver a dotar de agua a las personas cuanto antes.

A la hora de diseñar una planta potabilizadora de emergencia es importante tener en consideración las siguientes características para poder ofrecer a las personas afectadas cuanto antes un agua de calidad y en cantidad suficiente:

- Tener una **obra civil lo más simple y reducida posible**. De esta manera se asegura un fácil mantenimiento y explotación así como una rápida reparación en caso de rotura. Tener una estructura base robusta que soporte una gran movilidad y el transporte por terrenos abruptos es algo a tener muy en cuenta en estas situaciones.
- La **instalación del equipo debe ser rápida y simple**, ya que este proceso debe de estar terminado cuanto antes para poder comenzar lo más rápido posible con el abastecimiento. Debe poder situarse en gran cantidad de sustratos diferentes así como disponer de sistemas de sujeción al suelo que permitan una explotación segura.
- La necesidad de **ocupar un espacio reducido** también se debe tener en cuenta, ya que en situaciones donde ha tenido lugar una catástrofe habrá que acondicionar la zona donde se quiera establecer la potabilizadora. Cuanto más se reduzcan dichas zonas menos serán los trabajos necesarios para tenerlos preparados. Además hay que tener en cuenta que, para la hora de transportar la planta, cuanto más pequeña sea más fácil será dicho transporte.
- El **manejo de la potabilizadora debe ser sencillo**, con equipos de fácil manejo que no necesiten de grandes mantenimientos ni disponer de personal altamente cualificado. Cualquier persona debe tener la capacidad de entender el funcionamiento general de la planta y de poder realizar los trabajos de mantenimiento y limpieza simples, sin la necesidad de una formación específica. Además hay que destacar que en situaciones de emergencia se trabaja bajo mucha presión, por lo que cuanto más simple sea el manejo de los equipos más facilitará el trabajo a las personas encargadas de su explotación.
- Tanto los **reactivos químicos** como la **mano de obra** necesaria para operar una planta corresponden con una gran proporción de los costes de la misma, por ello es muy

importante **minimizar su utilización**. Cabe destacar que, a mayor consumo de reactivos mayor necesidad de transporte representan, además de aumentar el riesgo de contaminación que pueden generar en el medio. También hay que contar con las dificultades que se presentan a la hora de transportar sustancias químicas de manera internacional, por lo que cuanto menos sean y más inocuas, mejor.

- **Minimizar el consumo energético** es también un aspecto muy importante dentro del diseño de la planta potabilizadora de emergencia. Ya no solo por los altos costes que supone el consumo de energía eléctrica, sino también por el hecho de que cuanto mayores sean las necesidades energéticas, mayor será el equipo empleado en su generación. Este equipo ocupa un espacio importante por lo que debe ser lo más reducido posible. En situaciones de emergencia los puntos de abastecimiento de combustibles pueden verse muy reducidos, por lo que la dificultad de llegar a ellos pueden comprometer el funcionamiento del sistema. Este hecho también explica la necesidad de minimizar el consumo de energía lo máximo posible.
- La planta debe garantizar un **tiempo de vida lo más largo posible** para el cual se asegure su funcionamiento. Su utilización debe ser fiable, pudiendo confiar en que su funcionamiento se va a mantener durante el tiempo de vida para el que está diseñado. De la misma manera debe estar comprobado que la planta tiene capacidad de funcionar en condiciones desfavorables, tanto climáticas (fuertes temperaturas, altas precipitaciones...) como por procesos naturales (terremotos, maremotos...), ya que si la zona ha sufrido recientemente una catástrofe existe una probabilidad de que se pueda repetir en un tiempo relativamente corto.
- Es importante que su producción sea en **continuo** para que no existan paradas ni periodos muertos en su reparto. También es aconsejable una producción en continuo para que la propia planta trabaje de manera constante. Evitando paradas y arrancadas de equipos se consigue reducir el consumo energético además de evitar a los equipos estas situaciones, las cuales estropean y debilitan los equipos de manera más rápida.
- El agua tratada que sale de la planta debe tener la **calidad óptima** adecuada al consumo humano. Dichos parámetros de calidad vienen recogidos en gran cantidad de proyectos, instrucciones y trabajos. Esta calidad debe mantenerse sea cual sea el estado del agua bruta origen. Por ello es importante trabajar con equipos capaces de tratar gran cantidad de tipologías de agua y que como resultado den agua apta para el consumo.

- Estas potabilizadoras deben tener un **alto rendimiento** respecto a la cantidad de agua que toman para tratar y la que finalmente obtienen para su distribución. La pérdida de agua debe ser mínima para evitar derroches, contaminación del agua desaprovechada o gasto de reactivos o equipos en balde.
- Los equipos deben poder **limpiarse de manera fácil** para mantener la capacidad de tratamiento en su máximo posible. De esta manera se evita que por el colapso de los equipos el rendimiento de la planta decaiga.

3.2. Tratamientos

A la hora de elegir los sistemas de tratamiento que se van a utilizar hay que tener muy en cuenta las propias características del agua de partida. Al tratarse de agua en situaciones de emergencia se espera que las condiciones de la misma sean muy cambiantes a lo largo del tiempo que dura la actuación. Por ello deben emplearse sistemas eficaces capaces de tratar los distintos parámetros dentro de distintos rangos. También es importante poder tratar un amplio abanico de contaminantes o de situaciones, ya que se desconoce con exactitud las características iniciales del agua. En las siguientes líneas se procederá a explicar los procesos más comunes dentro del tratamiento del agua con las distintas posibilidades que ofrecen.

El principal objetivo de los tratamientos de agua es obtener agua potable libre de contaminación microbiológica, con una concentración lo más baja posible de productos tóxicos y con la menor turbidez posible. También es importante (aunque no tenga impacto directo en la salud humana) otros factores como salinidad, color, olor y sabor, ya que juegan un rol importante en la aceptabilidad final del agua por parte de los consumidores.

3.2.1. Eliminación de organismos patógenos

Los tratamientos para la eliminación de microorganismos patógenos cumplen uno de los objetivos más importantes, ya que en situaciones de emergencia la propagación de enfermedades de transmisión a través del agua puede originar grandes epidemias y altas mortalidades entre la población. Entre los principales tratamientos de desinfección del agua se encuentran:

- **Desinfección física:**

Hervir el agua durante al menos un minuto para asegurar que los organismos patógenos hayan muerto. Solo sirve para pequeñas cantidades de agua además de suponer un alto consumo energético.

Las **lámparas ultravioletas** tienen la capacidad de eliminar gran cantidad de patógenos, siendo el mayor problema que representan el hecho de que su efecto es inmediato, no ofreciendo una protección remanente durante algún tiempo. Son muy interesantes para combatir los patógenos que no se ven afectados por el cloro en concentraciones normales para aguas potables, como el virus de la Hepatitis E. también para las situaciones en las que las cantidades de cloro a adicionar representar una variación significativa en el color del agua.

Algunas lámparas ofrecen la desinfección de grandes cantidades de agua sin turbidez en muy poco tiempo gracias a las altas longitudes de onda a las que trabajan. Dichas lámparas son muy frágiles, poseen limitados periodos de vida útil tras los cuales hay que reemplazarlas.

Para pequeñas cantidades de agua con niveles de turbidez inferior a 20 NTU se puede utilizar la propia radiación del sol. Este sistema suele suponer una exposición de entre 6 y 8 horas para garantizar la desinfección.

Algunos procesos de **filtración** también permiten la eliminación de organismos patógenos. Los filtros superficiales eliminan todas las partículas mayores que el tamaño de poro que tengan, incluidos microorganismos. Para garantizar el buen uso de estos filtros se deben limpiar o sustituir.

Los filtros lentos de arena permiten realizar una filtración mecánica a la vez que se combinan con lechos orgánicos que se alimentan, entre otro tipo de materia orgánica, de organismos patógenos. Cabe destacar que este tipo de filtros tratando agua con niveles de turbidez de más de 30 NTU se colmatan muy rápidamente.

- **Desinfección química:**

Compuestos químicos como el cloro, el ozono o el yodo son capaces de desinfectar el agua por su gran capacidad de oxidación. Gran parte de los grupos de ayuda humanitaria utilizan como desinfectante el cloro ya que es fácil de manejar, con un coste relativamente bajo y eficiente en la eliminación de gran cantidad de virus y bacterias. Otra de las grandes ventajas del cloro es su capacidad de permanecer en el agua durante algún tiempo, permitiendo que se asegure la desinfección de la misma durante dicho periodo. Es importante destacar que las concentraciones que se usan de cloro para el agua potable no son capaces de eliminar algunos protozoos (como el *Cryptosporidium* o el responsable de la enfermedad Giardia) o huevos de helmintos.

El cloro pierde efectividad con grandes niveles de turbidez, por lo que es importante eliminarla antes de realizar una desinfección con este compuesto.

3.2.2. Eliminación de contaminantes químicos

Debido a la enorme cantidad de sustancias químicas existentes es muy difícil determinar si un agua está contaminada y además por qué sustancia. Además, la eliminación de sustancias químicas suele ser difícil y costosa. Lo más recomendable es, ante un agua con contaminación química, cambiar el lugar de captación de agua a otro que permita obtener agua de mayor calidad.

3.2.3. Eliminación de turbidez

Con la medición de la turbidez se consigue determinar la cantidad de partículas en suspensión que contiene el agua, además de que la cantidad de dichos sólidos suspendidos determinan directamente la aceptabilidad del agua por parte de los consumidores. También es importante destacar que muchos métodos de desinfección solo son realmente efectivos cuando existe una pequeña cantidad de sólidos en suspensión en el agua. Normalmente se aconseja realizar un pretratamiento de sedimentación previo a la desinfección para eliminar sólidos en suspensión cuando la turbidez supera los 5 NTU en situaciones estandarizadas o 20 NTU en situaciones de emergencia.

- **Procesos de sedimentación.**

La sedimentación natural es un proceso por el cual el agua con materia en suspensión queda retenida en un recipiente durante un tiempo determinado, permitiendo que por la propia gravedad dichas partículas caigan al lecho del reactor donde se encuentran, quedando el agua libre de dichas sustancias. Estas partículas “pesadas”, al caer pueden arrastrar microorganismos patógenos los cuales mueren al quedar retenidos en el suelo del recipiente. Los grandes tiempos de retención que necesita este sistema hace que no sea muy útil emplearlo en caso de emergencia.

Para acelerar el proceso de sedimentación es común que se añadan sustancias químicas coagulantes, que permiten la unión de pequeñas molecular para crear otras más grandes de mayor densidad, haciendo que su precipitación se realice en menor tiempo. Se suele emplear *sulfato de aluminio* o *cloruro férrico*, y a este proceso se le suele conocer como “sedimentación asistida”. Aun con la adicción de coagulantes el tiempo de sedimentación suele ser todavía demasiado largo para poder conseguir la turbidez requerida de 5 NTU en un periodo de tiempo relativamente corto, por ello además se le suelen añadir floculantes o polímeros. Estos productos permiten unir las partículas formadas en la coagulación para crear otras con mayor peso aún que permitan la sedimentación de manera aun más veloz.

Las concentraciones residuales que quedan en el agua tratada de coagulantes y floculantes pueden ser demasiado grandes, produciendo un impacto negativo en la salud pública o en la aceptabilidad final del agua. Además, la sedimentación asistida no elimina completamente patógenos como los protozoos o los huevos de gusanos (helminths). Por estas razones se recomienda realizar una filtración antes de la desinfección, sobre todo si se requiere unos niveles bajos de turbidez.

- **Procesos de filtración.**

Los procesos de filtración usan medios filtrantes para separar los sólidos del agua. Estos equipos permiten el paso del agua mientras retiene los sólidos de tamaño mayor al de los poros que posee. Normalmente los filtros lentos de arena y los filtros superficiales reducen la turbidez, pero se saturan en seguida. En situaciones de emergencia es mucho más común el uso de filtros rápidos de arena, ya que se saturan mucho más lentamente. Los procesos de filtración pueden colocarse tras la sedimentación, o incluso realizar la coagulación-floculación del agua justo delante de estos sistemas para posteriormente pasar directamente a la desinfección. Según los distintos procesos de filtración, a continuación se explican diferentes sistemas.

- **Filtración superficial.**
 - **Filtración por cartuchos.**

El agua bruta atraviesa los cartuchos formados por metales, fibras o cerámica y por finos poros. Dichos poros son capaces de retener las partículas en suspensión, huevos de helminths, y algunos tipos de bacterias y virus, por lo que el resultado es un agua de bastante buena calidad. La velocidad con la que los filtros se colmatan depende de la turbidez que posea el agua, ya que las partículas a separar quedan retenidas en la superficie. Incluso cuando existe una baja turbidez o los filtros se encuentran presurizados es necesario realizar limpiezas frecuentes.

Los filtros domiciliarios familiares son los más utilizados de manera individual o cuando el tratamiento del agua se realiza en las propias casas debido a los bajos ratios de producción que posee. Deben reemplazarse de manera frecuente.

- **Filtración por membrana.**

Estos métodos de filtración consisten en la utilización de membranas permeables, normalmente enrolladas en tubos y que son introducidas en contenedores cilíndricos. El tipo de filtración que se realiza (micro-, ultra-, o nano filtración) depende del tamaño de poro que tengan las membranas. Como los poros son extremadamente pequeños estos sistemas son capaces de retener partículas en suspensión, huevos de helmintos, además de gran cantidad de virus y bacterias. Tras este tipo de filtración se recomienda la utilización de un tratamiento de post cloración para poder garantizar un tiempo de desinfección gracias a las características remanentes del cloro. Como este tipo de sistemas funcionan con el principio de filtración en superficie su colmatación es muy rápida, sobre todo cuanto mayor sea la turbidez. Por ello es necesario hacer limpiezas frecuentes de este tipo de sistemas, que normalmente se realizan de manera automática usando agua a contracorriente. Los filtros de membrana producen agua de muy alta calidad sin necesidad de utilizar reactivos químicos, excepto ciertos ácidos y bases usados para la limpieza de las membranas. En contrapartida a estos sistemas cabe mencionar que son tecnologías caras y delicadas.

La nanofiltración usa membranas con un tamaño de poro que permite el paso de moléculas de entre 250 y 1.000 Daltons y trabaja bajo una presión de entre 75 y 125 psi. Es un proceso muy eficiente para eliminar materia orgánica e iones de gran tamaño, incluso partículas coloidales y todos los tipos de microorganismos. Por la gran delicadeza que presenta y por los altos costes de explotación y construcción no es una técnica recomendada para sistemas transportables.

Los poros que utiliza la ultrafiltración poseen unos tamaños de entre 1.000 y 10.000 Daltons. Lo normal es utilizar este sistema para la eliminación de microorganismos, aunque también elimina gran cantidad de materia orgánica. Aunque ya no supone un alto coste de energía al no trabajar bajo demasiada presión, sigue siendo un sistema costoso.

La principal diferencia entre el proceso de microfiltración y ultrafiltración son los tamaños de poros que poseen. Para la microfiltración corresponde un tamaño de poro de entre 0,05 a 5 micrómetros. El principal uso para los sistemas de micro filtración es la eliminación de partículas así como de microorganismos. Los gastos seguirán siendo importantes pero en todo caso menores que para el resto de sistemas de filtración por membranas.

Un caso especial que se suele incluir dentro de los sistemas de filtración por membranas es la ósmosis inversa. Este sistema es capaz de filtrar sólidos por debajo de 0,001 micras, basando su sistema en impulsar agua bruta por medio de una bomba de alta presión para forzar el paso del agua a través de una membrana selectiva que deja los compuestos a separar en una corriente de concentrado. Lleva a separar sales y solutos de bajo peso molecular, así como iones polivalentes y moléculas de pequeño tamaño. Es el sistema que consigue darle una calidad al agua muy alta, permitiendo separar la mayor parte de los componentes que lleva el

agua. Como grandes desventajas sus grandes costes, su gran consumo de reactivos, así como delicadeza y necesidad de contar con personal formado para su utilización.

En el siguiente esquema (*Ilustración 3.1*) se detallan los distintos tipos de filtración según los tamaños de poro y las partículas que pueden retener.

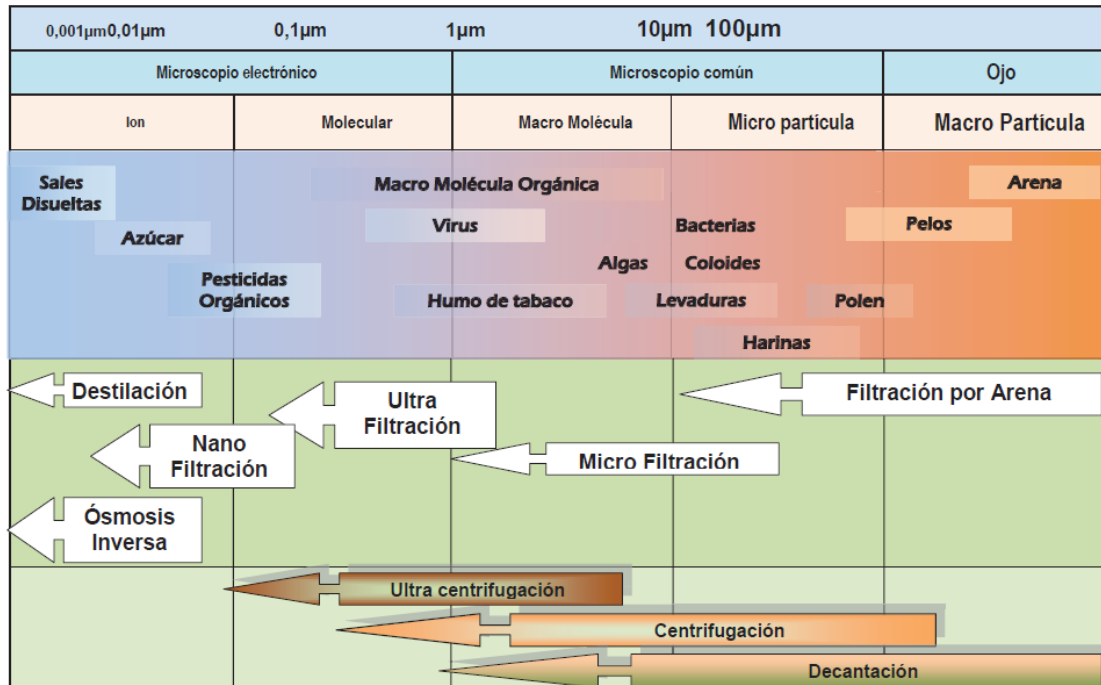


Ilustración 3.1. Tipos de filtración. (Fuente Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias (AECID))

- **Filtración en lecho granular.**

Durante estos procesos la materia en suspensión es retenida en los espacios intergranulares de la materia filtrante (normalmente arena). Normalmente se pueden utilizar dos métodos de filtración de lecho granular, lento y rápido. La filtración lenta se trata de un proceso mecánico y biológico a la vez, mientras que la filtración rápida únicamente se trata de un proceso mecánico. Este último proceso suele tratarse de un tamizado basado en el proceso de adsorción.

- **Filtración lenta.**

Este sistema que utiliza una acción mecánica y biológica conjunta es capaz de remover incluso gran parte de bacterias y virus del agua. Da buenos resultados en la clarificación del agua bruta siempre que esta no posea gran cantidad de partículas en suspensión. Este tipo de filtración no es adecuada para tratar agua con turbidez superior a 30 NTU. Si la turbidez supera ese nivel deberá pasarse el agua tratada por un desbaste previo. Este sistema no suele

ser utilizado en casos de emergencia por la gran cantidad de tiempo que necesitan los sistemas biológicos.

- **Filtración rápida.**

Los filtros rápidos actúan bajo dos principios: retención mecánica y adsorción sobre la superficie de los granulos formadores del filtro. Los filtros rápidos pueden instalarse después de un proceso de sedimentación asistida con el objetivo de eliminar los flóculos que quedan en el agua, así como virus, bacterias, huevos de helmintos, reactivos químicos residuales que quedan tras la coagulación etc. Este sistema da una buena calidad de agua final.

El lecho filtrante de este tipo de filtros puede estar formado por gran cantidad de materiales. Dependiendo de la porosidad de dichos materiales más efectiva será la separación de los contaminantes. El material más habitual suele ser la arena de sílex (muy común y barato de obtener). También es muy frecuente el uso de carbón activo (tanto granular como en polvo) por su gran porosidad, además de otros compuestos como granate, gravas etc.

Existen varios tipos de filtros rápidos: por gravedad, a presión y de lecho mixto. Los filtros por gravedad dejan que el agua atraviese el lecho de manera libre.

Los filtros a presión son muy parecidos a los de tipo gravedad, pero en esta ocasión el lecho y todo el sistema del filtro se ven encerrados en un recipiente hermético a presión hecho, normalmente, de acero. En este caso la fuerza que hace que el agua traspase el lecho no es la gravedad, si no la presión interna que se está dando al filtro. Esta presión puede ser tan elevada como se desee, pudiéndose alcanzar casi cualquier longitud deseada de superficie de filtrado. Estos filtros son más difícil de instalar, operar y mantener que los de filtro por gravedad.

Los filtros de lecho mixto son un tipo de filtro (normalmente de gravedad) cuyo lecho está compuesto por diferentes materiales, los cuales se colocan de grueso a fino en la dirección del flujo. Se suelen utilizar combinaciones de arena como lecho superior y antracita, piedra pómez, granate o cortezas molidas como lecho inferior.

Es posible realizar una filtración rápida asistida añadiendo coagulante al agua antes de realizar la filtración. Este sistema forma flóculos con algunos de los contaminantes del agua, permitiendo que se separen con la filtración y llegando a unos niveles de turbidez por debajo de los 5 NTU. Para ello, la turbidez inicial no debe exceder los 300 NTU ya que entonces la colmatación de los filtros se produciría de manera demasiado rápida y se necesitaría realizar lavados a contracorriente de manera demasiado frecuente, reduciendo demasiado el tiempo posible de filtración.

La filtración rápida es frecuentemente usada debido a la capacidad de producir grandes cantidades de agua tratada de buena calidad, además de tener un coste de operación y mantenimiento bastante bajos.

3.3. Agua

3.3.1. Agua bruta

Las tomas de agua es una parte importante en el proceso, hay muchos factores que influyen en la elección de la captación de agua. Dependerá principalmente de:

- La disponibilidad, la proximidad y la sostenibilidad de una cantidad suficiente de agua (existencia de corrientes de agua, topografía, etc.).
- El contexto, aquí se incluyen factores sociales, políticos o jurídicos relativos a la fuente de agua, que pueden influir en la elección final.
- Características de las aguas que determinaran el tipo de tratamiento al agua, en caso de ser necesario, y si este tratamiento es factible.

Las aguas superficiales son principalmente las aguas utilizadas en situaciones de emergencia por su mayor facilidad. Sin embargo, tienen el inconveniente de que sufren variación en sus caudales en función de la estación del año o pueden sufrir grandes contaminaciones. En dichas situaciones será necesaria la búsqueda de alternativas como aguas subterráneas. Por tanto, dependiendo del lugar del mundo donde ocurran estas emergencias la procedencia de las aguas será distinta. En casos de desastre, a menudo es preciso utilizar en la fase inicial una combinación de métodos de abastecimiento y fuentes de agua.

3.3.1.1. Aguas superficiales

La toma directa de aguas superficiales por medio de bombas es el método más usado durante situaciones de emergencia debido a su mayor accesibilidad. Para evitar desde un principio que la materia orgánica (hojas, plantas, insectos, vida animal acuática, algas de gran tamaño) y parte de la materia en suspensión que flota en cuerpos de aguas superficiales (arcillas, sedimentos, algas, zooplancton) sean succionados por la toma de agua de un sistema, y también para evitar la succión de lodos y sedimentos del fondo de un cuerpo de agua, se prevé la toma de agua cruda en una zona limpia. Esta deberá localizarse, como mínimo a 0,3 metros por debajo de la superficie, para así minimizar el bombeo de materia orgánica y materia en suspensión que obliguen a un incremento en los tratamientos posteriores y como mínimo a 0,5 m sobre el fondo por esta misma razón.

Estudio técnico

Simultáneamente el transporte se realizará por medio de tuberías, evitando el uso por canales abiertos, como consecuencia de ofrecer protección frente a la contaminación.

En aquellos lugares que permitan el abastecimiento por aguas superficiales, las captaciones deberán localizarse preferentemente aguas arriba de la contaminación, fuera del alcance de vertidos puntuales ocasionados por letrinas cercanas, lavado de ropas, etc.

3.3.1.2. Aguas subterráneas

Generalmente este tipo de aguas, poseen mejores características físicas y microbiológicas que las aguas superficiales, están menos sujetas a variaciones estacionales y por tanto son una de las fuentes preferidas para el abastecimiento de agua. Debido a su calidad importante garantizar el mantenimiento de estas características durante la toma y el bombeo, para evitar tratamientos posteriores. En general, se prefieren las fuentes de aguas subterráneas y/o los manantiales cuyo flujo es movido por gravedad porque requieren menos tratamiento y no hay necesidad de bombeo. Es necesario mantener una vigilancia constante de todas las fuentes para evitar así la explotación excesiva.

3.3.1.3. Aguas lluvia

En zonas rurales donde habite poca población, existe la alternativa de recolectar el agua de lluvia ya que representa un agua de buena calidad. Sin embargo, tiene los inconvenientes de su variabilidad a lo largo del año y la poca población a la que se puede abastecer

3.3.2. Sistema de bombeo

La instalación y el uso de sistemas de bombeo, en los trabajos del abastecimiento de agua en emergencias, se realiza generalmente con bombas de motor de combustión (gasolina o diesel). Su instalación, operación y mantenimiento es relativamente sencillo.

3.3.3. Almacenamiento

En situaciones extremas es muy importante la distribución adecuada de cantidad de agua potable para garantizar la supervivencia, ya que habrá un defecto en el suministro de agua para atender las necesidades básicas.

Es vital garantizar unas dotaciones mínimas para combatir los principales problemas de salud causados por la falta de agua, como son la deshidratación, la falta higiene, o enfermedades originadas por insuficiencia de agua y/o al consumo de agua contaminada.

3.3.3.1. Acceso al agua y cantidad disponible

A la hora de decidir las cantidades de agua necesarias para consumo doméstico, hay que considerar que estas variarán según el clima, los hábitos de las personas, la disponibilidad de recurso, sus prácticas religiosas y culturales, etc.

Según el Proyecto Esfera:

“Todas las personas tienen un acceso seguro y equitativo al agua en cantidad suficiente para beber, cocinar y realizar la higiene personal y doméstica, siendo la cantidad promedio de agua utilizada para beber, cocinar y realizar la higiene personal en los hogares es de al menos 15 litros por persona y por día”

A continuación se resumen las necesidades básicas de agua para asegurar la supervivencia en situaciones de emergencia.

Necesidades para asegurar supervivencia consumo de agua (beber y alimentos)	2,5 - 3 litros por día	Depende del clima la fisiología individual
Prácticas de higiene básicas	2-6 litros por día	Depende de las normas sociales y culturales
Necesidades básicas para cocinar	3-6 litros por día	Depende del tipo de alimentos y las normas sociales y culturales
Necesidades básicas cantidad total de agua	7,5-15 litros por día	

Tabla 3.1. Necesidades básicas de agua para asegurar la supervivencia

Siempre que sea posible, se puede exceder la cantidad de 15 litros por persona y por día para adaptarse a una norma local que sea más elevada.

En caso de que este sistema portátil de abastecimiento sea para una población permanente, la dotación deberá ser mayor. Es decir, cuando se produzca un cierto equilibrio en la situación de emergencia, los requerimientos en el uso y necesidades del recurso aumentarán con motivo de disfrutar de una mayor estabilidad, llegando a un caudal de 100 l por persona y día.

A continuación se resumen los caudales de producción para abastecer a una población de 5.000 habitantes en función de la dotación exigida. Dicha dotación será determinada según el contexto en el que se encuentre la población.

Situación	Dotación	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /h)	Caudal (m ³ /día)
Emergencia	15	0,9	3,1	75
Normalizada	100	5,8	21	500

Tabla 3.2. Producción de agua a una población de 5.000 habitantes

3.3.4. Calidad del agua producto

El agua tratada debe reunir una serie de características relativas a su calidad:

3.3.4.1. Sabor

El agua debe tener un sabor agradable y suficiente calidad para beberla y utilizarla para la preparación de alimentos y la higiene personal y doméstica sin que ello entrañe riesgos para la salud. Aunque el sabor no es en sí mismo un problema que repercuta directamente en la salud (por ejemplo, si el agua es ligeramente salina), si el agua salubre suministrada no tiene un sabor agradable, es probable que los usuarios prefieran beber agua de fuentes insalubres y pongan así en peligro su salud. En tal caso, es necesario llevar a cabo actividades de promoción de la higiene para que se utilicen solamente las fuentes de agua salubres

3.3.4.2. Turbidez

El agua será sometida a una desinfección final en el tratamiento con un desinfectante residual como el cloro para su abastecimiento. Para poder desinfectar correctamente el agua, la turbidez debe ser inferior a 5 UTN, aunque a corto plazo en caso de emergencia, se podrá desinfectar el agua que presenta un mayor grado de turbidez (20 UTN), empleando una doble dosis de cloro donde la concentración de cloro residual sea superior a 1 mg/l, luego procediendo a una filtración para reducir el grado de turbidez.

3.3.4.3. Coliformes

Las bacterias coliformes fecales (de las cuales más del 99% son *E. coli*) son un indicador del nivel de contaminación del agua por desechos humanos o animales y de la posible presencia de agentes patógenos peligrosos. Si hay coliformes fecales, el agua deberá ser tratada ya que no deberán existir coliformes fecales por 100 ml en la salida del agua.

Si no es posible realizar una cloración, en casos de emergencia, el contenido de coliformes deberá ser inferior a 10 mg/100 ml, pero será necesario someterla a una filtración.

3.4. Contenedores

3.4.1. Limitaciones (tamaño y transporte)

Los contenedores TIR son unos elementos para el transporte muy conocidos y empleados a nivel internacional para el transporte de diferentes tipos de mercancías. Dependiendo del tipo y tamaño y tipo de mercancía que se transporta se encuentran diferentes tipos:

- TIR Standard: 20 Pies (20' x 8' x 8'6''), 40 Pies (40' x 8' x 8'6'') y 40 Pies High Cube (40' x 8' x 9'6'')
- TIR REEFER (Contenedores Refrigerados Integrales): 20 Pies (20' x 8' x 8'6''), 40 Pies (40' x 8' x 8'6'') y 40 Pies High Cube (40' x 8' x 9'6'')
- TIR CONAIR (Contenedores Insulados Phortole): 20 Pies Conair (20' x 8' x 8'), 20 Pies Refeer Conair (40' x 8' x 8'6'') y Equipo auxiliar tipo Clip On
- Otro tipo de contenedores: 20 Pies Double Door (20' x 8' x 8'6''), 20 Pies Flatrack (20' x 8' x 8'6''), 40 Pies Flatrack (40' x 8' x 8'6''), 20 Pies Open Side (20' x 8' x 8'6''), 40 Pies Open Side (40' x 8' x 8'6''), 20 Pies Open top (20' x 8' x 8'6''), 40 Pies Open Top (40' x 8' x 8'6''), Contenedor Granelero 20', Contenedor Plataforma 20', Contenedor Plataforma 40', Contenedor Tanque 20' y Contenedor Tanque 40'

En este proyecto se va a operar con la creación de un contenedor nuevo denominado "TIR 40 Pies Double Door-Open Side" debido a que son los que mejor cumplen con nuestros requerimientos técnicos: alta resistencia, no necesidad de acondicionamiento climático, acceso desde tres caras y versatilidad para su transporte, ya que este tipo de contenedor puede ser transportado por barco, camión y tren cumpliendo con el tratado TIR. El contenedor poseerá cuatro puertas, dos laterales y dos longitudinales en la misma cara.



Ilustración 3.2. Modelos de contenedores: TIR 40 Pies, Contenedor “Double Door” y Contenedor “Open Side” (de izquierda a derecha)

Este contenedor presenta las siguientes características:

Altura Exterior	2,896 m	Altura Interior	2,393 m
Ancho Exterior	2,438 m	Ancho Interior	2,352 m
Largo Exterior	12,192 m	Largo Interior	12,025 m
Altura Puerta Lateral	2,280 m	Ancho Puerta Lateral	2,343 m
Altura Puerta Longitudinal	2,280 m	Ancho Puerta Longitudinal	5,686 m
Capacidad	67,68 m ³	Tara	3.750 kg
Carga máxima	28.750 kg	Peso bruto	32.500 kg
Tipo de carga	General	Carga de materiales peligrosos	Si
Mercado	Europa, América del Norte y Central		

Tabla 3.3. Características del contenedor “TIR 40 Pies Double Door-Open Side”

3.4.2. Tratado TIR

Para asegurarse que las mercancías puedan viajar con un mínimo de injerencia durante el trayecto, sin dejar de ofrecer un máximo de garantías a la administración aduanera en todos los países de tránsito, el régimen TIR tiene cinco exigencias fundamentales que constituyen los cinco pilares principales del sistema de tránsito aduanero TIR:

1. Las mercancías deben transportarse en vehículos o contenedores que ofrezcan una garantía total para la seguridad aduanera.

2. Los derechos e impuestos en cuestión deben garantizarse a lo largo de toda la duración del transporte, merced a una garantía reconocida internacionalmente.
3. Las mercancías deben ir acompañadas de un cuaderno TIR aceptado internacionalmente y utilizado en el país de partida que debe servir de documento de control aduanero en el país de expedición, de tránsito y de destino.
4. Las medidas de control aduanero tomadas en el país de partida deben ser aceptadas por los países de tránsito y de destino.
5. El acceso al sistema TIR de:
 - a. Las asociaciones nacionales expedidoras de los cuadernos TIR.
 - b. Las personas físicas y jurídicas con derecho a utilizar los cuadernos TIR, debe ser autorizado por las autoridades nacionales competentes.

Así mismo para aprobar el contenedor debe de cumplir unos requisitos y cumplir una normativa, en el caso de la normativa internacional debe de cumplir al menos conjuntamente UNE-EN ISO 6346:1996 y PNE-EN ISO 6346/1996/A3 que establece los contenedores para el transporte de mercancías, con la codificación, identificación y marcado

3.5. Comparación de soluciones

A continuación se adjuntan varias tablas con los métodos a emplear en un tratamiento de agua y una comparación entre los distintos sistemas que posee cada método. Con esta comparación se pretende conseguir obtener de una manera rápida y visual la mejor de las combinaciones de sistemas para obtener una planta útil que consiga ofrecer agua de manera rápida y eficaz.

La comparativa se realiza en función de tres parámetros: la eficacia general del tratamiento a emplear, el coste general que supone tanto en construcción como en explotación y la dificultad del mantenimiento y explotación.

Respecto a la eficacia del tratamiento se han utilizado los rangos de “malo”, “medio” y “bueno” para clasificar los sistemas. Para ser considerado como bueno el sistema debe tener un alto impacto positivo sobre la calidad final del agua. Como por ejemplo, para desinfección tener propiedades remanentes o en filtración asegurar la eliminación de la totalidad de los microorganismos además de posibilidad de poder eliminar ciertos contaminantes químicos.

El coste general se ha decidido clasificar según “alto”, “medio” y “bajo” dependiendo de los costes tanto de construcción como de explotación y mantenimiento. Para el caso de estudio

cabe destacar que se debe conseguir los elementos más eficaces con el menor coste posible, para que su utilización sea rentable y haya organizaciones que realmente puedan tomarla como un elemento a utilizar, sin que se salga de manera alarmante de su presupuesto normal.

La dificultad en el mantenimiento se ha caracterizado según el rango de “alta”, “media” o “baja”. Como ya se ha explicado este tipo de sistemas buscan tener un mantenimiento y operación lo más sencillo posible capaz de utilizado por cualquier persona sin altos conocimientos específicos, al igual que ser reparado en casi cualquier situación.

Respecto a la columna de utilidad en planta transportable habla, según lo dicho anteriormente, de si realmente existe la posibilidad de utilizar dicho sistema en estas potabilizadoras. Bien por la capacidad de tratar poca cantidad de agua, de ser un sistema muy complejo o por la necesidad de mucho espacio muchos sistemas quedan excluidos de poder integrarse en estas plantas, aun cuando son eficientes, rentables y sencillos. Esta columna utiliza los parámetros de clasificación “sí” y “no”.

		EFICACIA EN TRATAMIENTO	COSTE GENERAL	DIFICULTAD MANTENIMIENTO	UTILIDAD EN PLANTA TRANSPORTABLE	
DESINFECCIÓN	FÍSICA	HERVIR AGUA	MEDIA	MEDIO	BAJA	NO
		LÁMPARAS UV	BUENA	ALTO	ALTA	NO
		FILTRACIÓN	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI
	QUÍMICA	COLORACIÓN	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI

Tabla 3.4. Comparativa en tratamientos de desinfección

		EFICACIA EN TRATAMIENTO	COSTE GENERAL	DIFICULTAD MANTENIMIENTO	UTILIDAD EN PLANTA TRANSPORTABLE
SEDIMENTACIÓN	NATURAL	MEDIA	BAJO	BAJA	NO
	ASISTIDA	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI

Tabla 3.5. Comparativa en tratamientos de sedimentación

		EFICACIA EN TRATAMIENTO	COSTE GENERAL	DIFICULTAD MANTENIMIENTO	UTILIDAD EN PLANTA TRANSPORTABLE	
FILTRACIÓN EN SUPERFICIE	CARTUCHO	MEDIA	MEDIO	MEDIA	SI	
	MEMBRANA	MICRO	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI
		ULTRA	BUENA	ALTO	MEDIA	SI
		NANO	BUENA	ALTO	ALTA	NO
		O.I	BUENA	ALTA	ALTA	NO

Tabla 3.6. Comparativa en tratamientos de filtración en superficie

		EFICACIA EN TRATAMIENTO	COSTE GENERAL	DIFICULTAD MANTENIMIENTO	UTILIDAD EN PLANTA TRANSPORTABLE	
FILTRACIÓN CON LECHO	LENTO	BUENA	MEDIO	ALTA	NO	
	RÁPIDO	GRAVEDAD	BUENA	BAJO	BAJA	SI
		PRESIÓN	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI
		L. MIXTO	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI

Tabla 3.7. Comparativa en tratamientos de filtración con lecho

Por todo lo visto anteriormente se ha decidido emplear los siguientes sistemas para el diseño final de la planta potabilizadora transportable de emergencias:

- Desinfección: Método químico con uso de cloro. Se ha seleccionado este método por su sencillez y, sobre todo, por las propiedades remanentes de desinfección que ofrece.
- Sedimentación: Asistida. En este caso es importante ahorrar en tiempo y en espacio, por lo que la adicción de coagulantes y floculantes es una opción muy interesante.
- Filtración: Rápida. Se ha decidido instalar dos filtros. Uno de lecho mixto de sílex y arena para eliminar las partículas que no hayan sido eliminadas tras la decantación y tras él un filtro de carbón activo que realizará un refinado de la calidad de agua. Este

último filtro eliminará por adsorción algunos componentes que no pueden ser retenidos por el filtro de lecho mixto.

Además de esta filtración se ha propuesto instalar en la planta una filtración de membrana que permita poder obtener agua de buena calidad en situaciones puntuales en las que el agua bruta sea de muy mala calidad.

Mayores especificaciones de los sistemas elegidos y los motivos se detallarán en el siguiente apartado.

4. Alternativa seleccionada

4.1. Diagrama proceso

En principio, estas plantas llevan etapas de precloración, floculación, decantación laminar, filtración rápida por sílex, filtración por carbono activado y la cloración final (Ilustración 4.1).

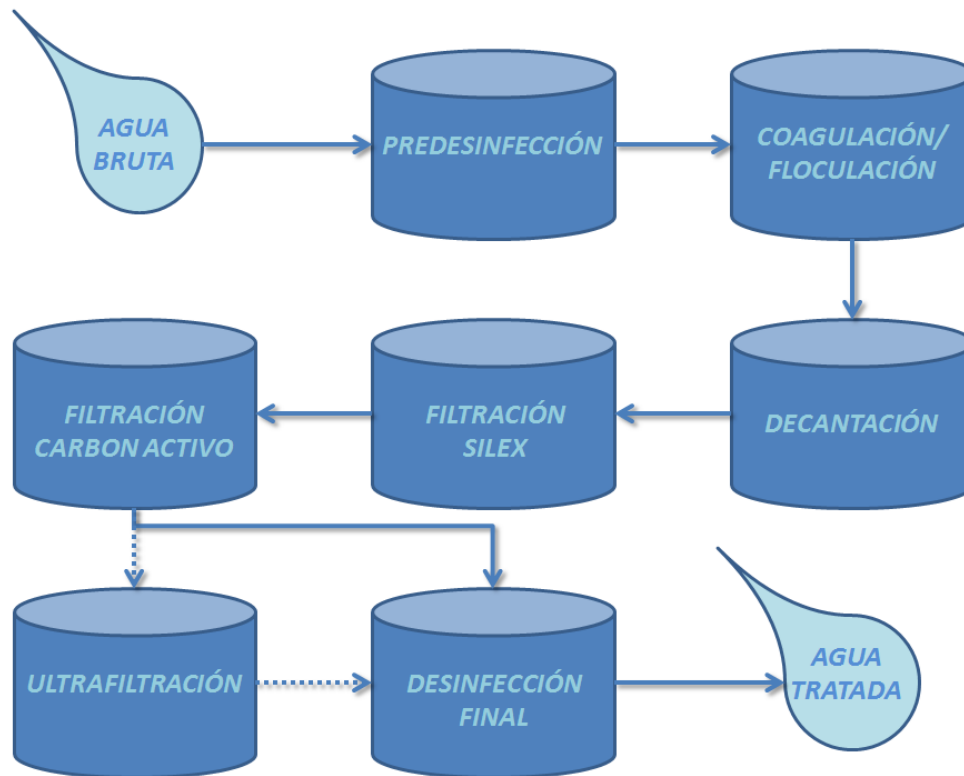


Ilustración 4.1. Proceso de tratamiento

4.2. Descripción del método

4.2.1. Pretratamiento físico

Por lo general tras un desastre el agua superficial que puede ser potabilizada se ve afectada por un incremento de la turbidez y de grandes sólidos. Esto puede ocasionar dificultades a la hora de realizar el bombeo al bloquear los equipos o interferir en el funcionamiento de los mismos.

Para solucionar este problema, se ha optado por un método simple, sencillo y barato, consistente en la colocación de un filtro alcachofa que evitará la entrada de partículas tamaño grande-medio, como hojas, madera, piedras,...

4.2.2. Precloración

Algunas aguas superficiales expuestas a la luz del sol y que contienen muchos nutrientes debido a la contaminación orgánica, pueden entrar en eutrofización, dando lugar a un crecimiento masivo de algas. Estas aguas verdes son especialmente difíciles de tratar por su concentración de material orgánico y porque muchas algas no son fáciles de flocular y sedimentar.

En estos casos se usa, ocasionalmente, un pre tratamiento de choque (alta concentración de oxidante) para oxidar (matar) las algas y poder continuar con el proceso de floculación y decantación

Para la desinfección de agua potable en emergencias se recomienda el uso de compuestos clorados. Su uso es considerado como un procedimiento estándar por varias razones:

- La accesibilidad a diferentes productos de cloro en casi todo el mundo. Es una tecnología conocida, aceptada e implementada en muchos países.
- El transporte es relativamente fácil. En emergencias se utiliza habitualmente en forma de Hipoclorito de calcio (granulado HTH) a altas concentraciones (60-70%) debido a su mayor estabilidad. Además, es un producto de fácil manejo cuyo almacenamiento es sencillo, ya que solo requiere lugares secos, frescos y bien ventilados.
- El precio de este desinfectante (HTH) es moderado.
- Su dosificación, en la desinfección de agua en emergencias, es relativamente fácil. Se realiza a través de un proceso que se llama el test de las jarras o baldes, donde se mide la demanda de cloro de un agua probando diferentes dosis en una batería de contenedores y midiendo su CLR.

4.2.3. Coagulación-Floculación

Esta etapa tiene el principal objetivo de permitir clarificar el agua bruta por medio de una sedimentación posterior. Consiste en aumentar el tamaño de la materia coloidal (arcilla, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas, etc.) por medio de una coagulación y una floculación de manera que se formaran unos flóculos tales que su peso superará al del agua y puedan sedimentar.

La coagulación ocurre durante una mezcla rápida tras añadir un coagulante. En ella se desestabilizan los coloides para permitir su agregación y mejorar la posterior la adhesión de partículas finas con la ayuda de un material floculante y el movimiento lento del fluido.

Como coagulante se empleará $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ debido a su capacidad coagulante y facilidad de transporte. Mientras como floculante se empleará almidón de patata debido a económico precio.

4.2.4. Sedimentación

El objetivo de esta etapa es separar la materia suspendida resultante de la floculación en el agua por efectos gravitatorios. Con ello, se consigue un agua clarificada que puede ser llevada a la siguiente etapa de tratamiento.

En esta etapa se generaran fangos que requieren separarlos para no colmatar los recipientes. Estos no se tratarán ante la falta de medios, únicamente se dejaran secar al sol para su posible aplicación posterior como abono.

Durante esta etapa conjunta es necesario el estudio de las condiciones de trabajo (pH, coagulante, dosis, etc.) para conseguir una óptima clarificación.

4.2.5. Filtración

El objetivo es mejorar la turbidez y las características físico-químicas del agua para una posterior desinfección final. Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio, quedando retenidas las partículas en la superficie del medio. Se conseguirá eliminar partículas solidas, algas, virus, que no sedimentaron en la etapa anterior debido as u pequeño tamaño.

Se emplearan una filtración con Sílex-Antracita y posterior una filtración con Carbón Activo.

4.2.5.1. Filtración con Sílex-Antracita

Consiste en unos filtros multicapa de arena sílex donde las partículas quedan retenidas. Las capas de material filtrante se colocan de tal forma que el material de la parte superior atrapa las partículas de mayor tamaño, la capa que sigue hacia abajo las de mediano tamaño y la inferior las de menor tamaño, llegando a retener partículas de hasta 15 micras.

Una vez que el filtro se haya cargado de impurezas, alcanzando una pérdida de carga prefijada, puede ser regenerado por lavado a contra corriente con agua tratada.

Los más usados son los filtros de presión aunque últimamente gozan de gran uso los filtros de filtración en continuo.

4.2.5.2. Filtración con Carbón Activo

El proceso consiste en una adsorción con filtros de carbón vegetal activado por el cual las moléculas de las impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado por medio de una atracción electroquímica.

Esta etapa tiene como función la reducción o eliminación de compuestos orgánicos volátiles, los pesticidas y herbicidas, los compuestos con trihalometanos, los solventes y otros productos.

Es especialmente importante la eliminación de trihalometanos, compuestos químicos volátiles que se generan durante la reacción de la materia orgánica con el cloro durante la precloración, los cuales son considerados peligrosos para la salud (La normativa de la CE establece < 100 microgramos trihalometanos/litro). Por tanto, después de un tratamiento de choque con cloro siempre se debe realizar una filtración con carbono activo, para eliminar el cloro sobrante y la contaminación por trihalometanos.

El carbón activo se presenta en dos variedades principales, Carbón Activo en Polvo (PAC) con diámetro menor o igual a 0,25 mm y Carbón Activo Granular (GAC) con diámetro superior a los 0,25 mm. El GAC tiene la ventaja de tener gran superficie de contacto debido al mayor tamaño de partícula y poder operar en continuo.

El carbón activo se prepara a partir de cualquier material carbónico tales como madera, cáscaras de nueces o preferiblemente cáscara de coco. Para su preparación se calientan en hornos a altas temperaturas (800-1.000°C), y se les inyectan vapor creando multitud de microporos en su superficie otorgándole gran porosidad.

Esta enorme cantidad de área superficial porosa permite una mayor adsorción de las moléculas orgánicas que causan olores o sabores en el agua.

Cuando la superficie disponible del carbón activo se llena de impurezas se dice que el carbón está gastado. La opción de regeneración es uno de los beneficios principales de la filtración por carbón activo. Esta se realiza por medio de un retro lavado con agua tratada. A pesar de la regeneración, el carbón activo pierde su fuerza de adsorción después de un año y deba ser cambiado, dependiendo de su uso y la calidad del agua cruda.

4.2.6. Ultrafiltración

La ultrafiltración consiste en una separación física a través de una filtración de membrana con tamaños de poro que oscilan entre las 0,1 y 0,01 micras. Normalmente se utiliza la ultrafiltración como un tratamiento de afino para conseguir un agua de muy buena calidad, reteniéndose la totalidad de virus, bacterias y demás microorganismos, así como gran cantidad de partículas inertes. Este tipo de filtración requiere una gran presión de trabajo, suponiendo por lo tanto un gran consumo de energía. También hay que destacar la gran fragilidad de estos equipos, además de, por su pequeño tamaño de poro, la rapidez con la que se colmatan. Es necesario realizar limpiezas periódicas de las membranas, así como sustituirlas en el momento que su eficacia ya no pueda ser recuperada de nuevo con más lavados.

Las membranas de ultrafiltración más utilizadas suelen denominarse como orgánicas. Estas se obtienen a partir de diferentes polímeros homogéneos. Son membranas asequibles pero con algunas deficiencias en lo que se refiere a resistencia química, térmica y mecánica. Otro tipo de membranas son, por ejemplo las de vidrios pororós, metálicas, cerámicas... Las cerámicas tienen mayor resistencia que las orgánicas, además sufrir un menor ensuciamiento. En contrapartida, las cerámicas suponen un coste muy superior a las orgánicas, lo que limita mucho su uso.

El ensuciamiento ya mencionado es el principal inconveniente de los procesos de membrana. Consiste en la acumulación sobre la membrana de diferentes elementos presentes en el agua.

En este caso se ha decidido instalar un equipo de ultrafiltración para, en casos con agua bruta de muy mala calidad que el filtro de carbón activo no garantice las garantías de salubridad, se pueda añadir una etapa más de afino para conseguir las características deseadas.

4.2.7. Postcloración

Consiste en una adición de desinfectante al agua al final del tratamiento para prevenir la extensión de las posibles enfermedades y proteger los abastecimientos de agua potable. Se empleara al igual que en la precloración, Hipoclorito de calcio, debido a que posee un carácter residual en el agua y a su alto grado de estabilidad en un amplio rango de temperaturas, lo que lo hace muy atractivo.

En una instalación de emergencia de agua potable donde se distribuya agua desinfectada con cloro, es obligatorio el monitoreo regular de la concentración del desinfectante en el agua (CLR). El parámetro de la OMS, así como por las normas de Esfera, de 0,5 mg/litro es vinculante para el punto de distribución. Si el pH del agua está por encima de 7,8, el CLR deberá estar situado entre 0,6 - 0,8 mg/litro, y el tiempo de retención (tiempo que tiene el

cloro para reaccionar en el agua a desinfectar) debe ser prolongado de 30 min a 60 min antes de hacer la prueba.

4.3. Diseño

4.3.1. Dotación

La planta de estudio está diseñada para abastecer a 5.000 personas a una dotación de 100 litros por persona y día. Se ha determinado que aproximadamente un 8 % del agua se perderá por los distintos tratamientos así como por las conducciones o por los rechazos de los equipos. En situaciones de máxima emergencia se puede considerar como dotación 15 litros/persona/día según marca el *Proyecto Esfera*. En este caso la cantidad de personas que podrían ser finalmente abastecidas serían más de 33.000 al día. Se ha calculado que la cantidad de agua que se debe extraer al día es de 540 m³/día para garantizar la dotación antes mencionada. En la siguiente tabla se resumen los datos aportados, así como el caudal dado en algunas unidades de interés.

Personas a abastecer	5.000
Dotación	100 litros/persona/día
Cantidad de agua tratada necesaria	500.000 litros/día
Porcentaje de pérdidas	8 %
Cantidad de agua necesaria a tratar	540.000 litros/día
	540 m ³ /día
	33,8 m ³ /h*
	9,4 l/s

Tabla 4.1. Estudio de dotación

La planta se ha previsto que funcione 16 horas al día en dos turnos de mañana y tarde, por lo que el caudal dado de 33,8 m³/horas viene dado respecto a ese tiempo. Esto se ha decidido así ya que una planta de este tipo debe ahorrar tanto energía como reactivos, equipos y personal lo máximo posible. No solo hay que tener en cuenta la dificultad de disponer de combustibles o de reactivos químicos cuando se acaben, si no también hay que minimizar al máximo el desgaste de los equipos así como el personal pendiente de su funcionamiento.

A continuación, y respecto a los datos de diseño obtenidos anteriormente se especificarán los equipos usados, sus características y la justificación de su uso.

4.3.2. Equipos principales

4.3.2.1. Decantador lamelar compacto

Como equipo de decantación de las partículas sedimentables se ha elegido uno de tipo *lamelar*. Estos equipos son muy recomendables para trabajar en superficies pequeñas ya que gracias a las lamelas que poseen se aumenta la superficie decantable por metro cuadrado de equipo. Las especificaciones de diseño de dicho equipo aparecen en la siguiente tabla.

SEDIMENTADOR	
Caudal a tratar	33,8 m ³ /h
Características equipo	
Volumen lamelas	1,62 m ³
Tipo lamelas	40 mm
Área específica	16 m ² /m ³
Superficie lamelar total	25,92 m ²
Velocidad específica	1,30 m/h
Superficie necesaria	25,92 m ²
Medidas	
Ancho	1,758 m
Largo	2,950 m
Alto	2,2 m

Tabla 4.2. Parámetros de diseño del decantador

Para este equipo se ha decidido utilizar las lamelas tipo 40 mm ya que son las que mayor área específica dan, $16 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Con esta elección se ha conseguido reducir el tamaño lo máximo posible. Para una superficie de decantación de aproximadamente 26 m^2 se tiene una velocidad de sedimentación de $1,3 \text{ m/h}$. Puede resultar algo alta pero hay que recordar que al tratarse de una planta para emergencias hay que forzar los equipos y minimizar las exigencias.



Ilustración 2.2. Sedimentador lamelar compacto

4.3.2.1.1. Coagulador - Floculador

Previo al sedimentador anterior se ha decidido colocar un sistema coagulador - floculador de tipo laberinto. Estos sistemas permiten garantizar las necesidades para este tipo de procesos ocupando muy poco espacio, ya que no es necesario la construcción de un reactor o la instalación de un tanque. Aseguran el tiempo necesario para la creación de flóculos además de ofrecer la agitación necesaria para este tipo de procesos. Este equipo permite la adición de un reactivo extra (en este caso sosa) para regular el pH y optimizar el proceso de coagulación. En este caso, y por la limitación de espacio que se tiene se ha decidido colocar este sistema sobre uno de los laterales del propio sedimentador. A continuación se adjunta una tabla con las especificaciones técnicas del equipo y un esquema gráfico del sistema.

COAGULADOR - FLOCULADOR	
Caudal mínimo	25 m ³ /h
Caudal máximo	37 m ³ /h
Diámetro	11 cm
Altura	1 m
Ancho	50 cm
Largo	3,5 m

Tabla 4.3. Parámetros de diseño del sistema coagulador - floculador

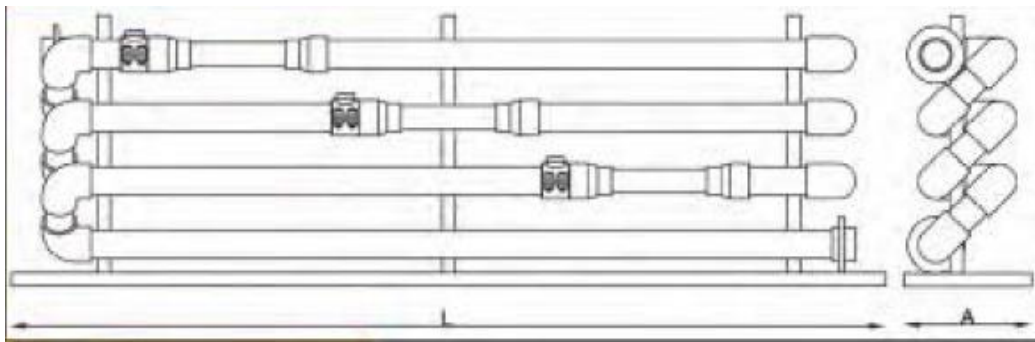


Ilustración 4.2. Sistema Coagulador - Floculador

4.3.2.2. Filtración de sílex -antracita

Respecto al sistema de filtrado inicial se han utilizado dos filtros de sílex - antracita para una primera filtración física. Se han colocado dos filtros para asegurar el funcionamiento continuo de la planta en caso de avería de uno de ellos. Estos filtros corresponden a dos líneas distintas, cada una de las cuales tratando la mitad del caudal en paralelo. En la siguiente tabla se especifican los detalles del sistema:

FILTRO SÍLEX - ANTRACITA	
Caudal de diseño	33,8 m ³ /h
Unidades de operación	2 unidades
Caudal unitario	16,9 m ³ /h
Medidas del equipo	
Diámetro	1 m
Alto	2,147 m
Superficie unitaria	0,8 m ²
Velocidad de filtración	21,5 m ³ /m ² /h
Características del relleno	
Sílex	536 kg
Antracita	856 kg
Otras características	
Peso unitario	1.948,8 kg
Peso total	3.897,6 kg
Alimentación eléctrica	220V - 12V AC
Presión de trabajo	3 bar
Material	PRFV exterior y PE alimentario interior

Tabla 4.4. Parámetros de diseño del sistema filtro sílex-antracita

Respecto a la velocidad de filtración decir que los límites entre los que debe encontrarse son 10 y 25 m³/m²/h. En este caso se ha determinado según especificaciones del filtro y del caudal a tratar una velocidad de 21,5 m³/m²/h.

Cabe destacar en este equipo que está formado por PRFV en el exterior y por PE en el interior. El Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) consiste en una matriz de resina y un refuerzo de la misma formada por fibras de vidrio. Entre las principales ventajas que presenta este material esta la elevada resistencia química que evita la corrosión, el bajo peso y mantenimiento etc. Respecto al Polietileno Alimentario cabe destacar algunas de las características de este plástico como es su durabilidad, atoxicidad, resistencia, flexibilidad... Hay que apuntar la necesidad de que este plástico tiene que ser apto para estar en contacto con producto alimentarios para poder utilizarlo en equipos destinados a la producción de agua potable.

4.3.2.3. Filtración de carbón activo

El sistema de filtrado por carbón activo se ha colocado con la intención de realizar un tratamiento de afino del agua a través de una adsorción de las partículas a retener sobre la superficie del lecho. Este sistema garantiza una buena calidad de agua tratada para un agua bruta con unas características medias. Para la mayor parte de los casos será suficiente con este filtrado como sistema final para poder obtener un agua dentro de los parámetros de calidad necesarios. Al igual que para los filtros de sílex se han colocado dos líneas de tratamiento.

A continuación se presenta una tabla con las características de este sistema.

FILTRACIÓN CARBÓN ACTIVO	
Caudal de diseño	33,8 m ³ /h
Unidades de operación	2 unidades
Caudal unitario	16,9 m ³ /h
Medidas del equipo	
Diámetro	1 m
Alto filtro	2,14 m
Superficie unitaria	0,79 m ²
Velocidad de filtración	21,5 m ³ /m ² /h

Características del relleno	
Carbón activo	330 kg
Otras características	
Peso	594 kg
Peso total	1.188 kg
Alimentación eléctrica	220V - 12V
Presión de trabajo	5 bar
Material	Poliamida

Tabla 4.5. Parámetros de diseño del sistema de filtración carbón activo

En este caso la velocidad de filtración es la misma que para el filtro de sílex al ser los dos filtros del mismo diámetro. Este hecho es posible gracias a la utilización del mismo fabricante para los dos filtros. Además de dar una mayor simetría y orden a la planta, facilita el diseño al utilizar elementos del mismo tamaño, ayudando enormemente a su colocación. En este caso el filtro está hecho de poliamida. La poliamida está compuesta por polímeros semicristalinos. Algunas de las características de este material son: una alta resistencia mecánica, dureza, rigidez; elevada capacidad de amortiguación; buena resistencia a la fatiga; gran resistencia al desgaste etc.

4.3.2.4. Ultrafiltración compacta

Para aumentar el rango de utilización de la planta se ha decidido colocar un equipo compacto de ultrafiltración (ilustración 4.4) para únicamente los casos en los que el agua bruta sea de muy mala calidad. El hecho de utilizar un sistema compacto permite realizar una fácil instalación, así como ocupar poco espacio. Este sistema estará colocado en una sola línea ya que colocar dos sería muy costoso y ocuparía demasiado espacio, además para la mayoría de las situaciones su uso no es necesario.

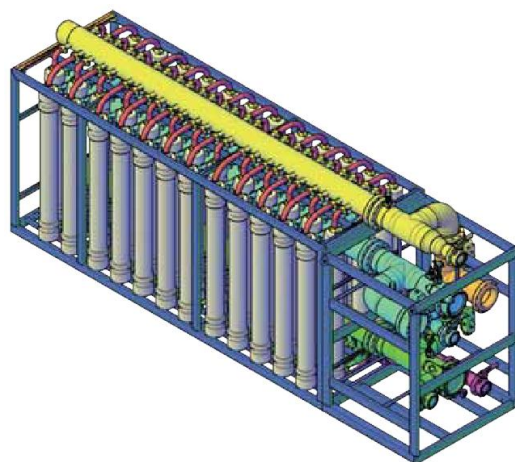


Ilustración 4.3. Planta compacta de ultrafiltración

Las características del equipo empleado son las siguientes:

ULTRAFILTRACIÓN		
Caudal diseño	20,3 m ³ /h	
Caudal alimentación máximo	33 m ³ /h	
Caudal rechazo total	1,9 m ³ /h	
Medidas y características del equipo		
Ancho	1,70 m	
Largo	1,90 m	
Alto	2,30 m	
Número de módulos de ultrafiltración	6 unidades	
Caudal unitario de cada módulo	5,5	
Material del bastidor	Acero inoxidable	
Módulos	Material de las fibras	Fluoruro de Polivinilideno Hidrofílico de doble pared
	Material de los recipientes de las fibras	PVC

Tabla 4.6. Parámetros de diseño del sistema de ultrafiltración

En primer lugar mencionar que cuando el tratamiento del agua requiera de ultrafiltración tan solo se va a pasar por dicho sistema el 60 % del caudal total, es decir, 20,3 m³/h. El resto del caudal tendrá como último tratamiento el filtro de carbón activo y se mezclará con el agua de ultrafiltración en el tanque de postcloración. Esto se ha decidido hacer así ya que el proceso de ultrafiltración elimina casi por completo la totalidad de los compuestos del agua, incluyendo las sales disueltas responsables de evitar la deshidratación. Por ello sería necesario realizar una remineralización, la cual normalmente se realiza añadiendo algún compuesto químico, como sosa o calcita. En este caso y para evitar el uso de dichos compuestos se ha decidido no pasar todo el caudal de agua por el sistema de microfiltración para luego ser mezclados los dos tipos de agua y conseguir un resultado de calidad media y con el contenido en minerales necesario.

Hay que señalar la importancia del caudal de rechazo en estos sistemas y decir que se ha tenido en cuenta en el diseño con el 8% de margen que se dio al principio contando con las pérdidas.

El bastidor está construido en acero inoxidable. Este material posee aproximadamente el 11% de cromo en su composición, lo que les hace totalmente inertes a reacciones químicas. Al poseer una gran resistencia a la corrosión natural y a la oxidación hace que el acero inoxidable sea perfecto para el uso en la planta de diseño. Además tienen una gran resistencia mecánica y soporta grandes oscilaciones de temperatura.

Los módulos de membrana están compuestos por fibras huecas de Fluoruro de Polivinilideno Hidrofílico de doble pared. Este material presenta una menor tendencia al ensuciamiento orgánico que otros materiales gracias a su naturaleza hidrofílica. Además presenta una gran resistencia tanto química como térmica y mecánica. La doble pared le da a la fibra mayor robustez y menor fragilidad.

Cabe destacar los valores máximos de calidad del agua de alimentación que acepta este sistema. Estos valores se presentan en la siguiente tabla.

Parámetros máximos de calidad de agua permitidos en módulo de UF	
Turbidez	300 NTU
Total Sólidos en Suspensión	100 PPM
Carbono Orgánico Total	40 PPM
Cl ₂	200 PPM
pH	2 - 11
Temperatura	40 °C

Tabla 4.7. Parámetros máximos de calidad permitidos en el sistema de ultrafiltración

Respecto a la turbidez (parámetro más regulado según el *Proyecto Esfera*, principal referente normativo utilizado para el presente proyecto) es capaz de admitir valores de hasta 300 NTU. Este valor tan alto sumado al hecho de que para cuando el agua llega a la ultrafiltración ya ha pasado por otros procesos que han ayudado a eliminar parte de la turbidez hace imaginar la malísima calidad con la que esta planta es capaz de trabajar. En todos los procesos de membrana existe el gran problema del ensuciamiento y colmatación de estos sistemas, por lo que hay que tener en cuenta que la utilización de este sistema quede únicamente reservada a tratar aguas de muy mala calidad y durante tiempos limitados, como ya se ha apuntado. Su uso continuado supondría tremendos costes de explotación, mantenimiento y recambio de módulos.

4.3.3. Equipos auxiliares

Además de los principales equipos involucrados directamente en el tratamiento, será necesaria la existencia de otro grupo de equipos, que servirán de apoyo y que sin ellos el proceso no podría funcionar. Es el caso de los equipos de bombeo, los dosificadores de reactivo, el generador, etc.

A continuación se especificarán los principales equipos auxiliares:

4.3.3.1. Equipos de bombeo

Dentro de este grupo, diferenciaremos entre los equipos que transforma energía, aplicándola para mover el agua y aquellos encargados de suministrar la energía potencial necesaria para superar la diferencia de presiones de equipos, como los filtros.

4.3.3.1.1. Motobomba

Este equipo tendrá la función de bombear el agua superficial hasta la planta de tratamiento. Por lo tanto será necesaria que tenga la potencia necesaria para elevar un caudal horario superior a 34.000 l/h. La bomba recibe la energía a través de un motor acoplado.

Al mismo tiempo deber ser móvil para adaptarse a las diferentes necesidades. Por tanto se ha buscado una bomba autónoma con arranque manual y que recibe energía de un motor alimentado por un combustible con relativa disponibilidad en el mercado en este caso, diesel.



Ilustración 4.4. Motobomba de agua superficial

Entre las diferentes Motobombas observadas se seleccionó el modelo Honda WT 20 XK3, cuyas características son:

Modelo	Honda WT 20 XK3
Motor	GX 160
Caudal Máximo (l/h)	42,6
Elevación máximo (m)	30
Aspiración (m)	8
Diámetro de entrada (mm)	50
Diámetro de salida (mm)	50
Peso en seco (kg)	47

Tabla 4.8. Características de la motobomba

4.3.3.1.2. Equipo de bombeo de presión

Tanto los filtros de sílex como los de carbón activo y la ultrafiltración trabajaran a presión, por tanto necesitarán un equipo de bombeo que permitan trabajar a dicha presión.

Es el total de la energía necesaria para superar la filtración, la microfiltración y las pérdidas de carga asociadas hasta llegar a la cloración final.

Caudal de bombeo (m ³ /h)	33,8
Nº de bombas en operación	2
Nº de bombas en reserva	0
Caudal unitario (m ³ /h)	16,90
Pérdidas de carga en tuberías (bar)	0,5
Presión de trabajo filtro sílex (bar)	3
Presión de trabajo carbón activo (bar)	5
Presión de trabajo ultrafiltración (bar)	6
Margen de seguridad (bar)	0,5
Total (bar)	15

Tabla 4.9. Características y presiones de trabajo del equipo de bombeo de presión

Se adoptan unas bombas que trabajen con un caudal de 17 m³/h y una altura manométrica máxima de 150 m.c.a.

Se realiza un cálculo aproximado de la potencia del motor:

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{\rho_{\text{agua}} \times \text{caudal} \times \text{altura manométrica}}{\eta_{\text{bomba}} \times \eta_{\text{motor}} \times 367}$$

Suponiendo:

- Rendimiento del motor: 95 %
- Rendimiento de la bomba: 85 %
- Densidad agua: 1 kg/m³

Alternativa seleccionada

Potencia absorbida = 8,6 kW-h aproximadamente.

Por tanto, se adoptará un motor de 9 kW

4.3.3.2. Equipo electrógeno

Al ser una planta autónoma es necesario un equipo encargado de generar la electricidad necesaria en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico. De ello se encargará el equipo electrógeno que constará de un motor, el cual aplicará energía mecánica a un alternador para que gire y genere electricidad. Se decide seleccionar un modelo cuyo motor se alimente con un combustible fósil como el diesel debido a que es más económico que la gasolina.

Conociendo el consumo en Watts de las cargas que se van a conectar al mismo tiempo (información dada por los fabricantes de los equipos), se procede a sumarlas para saber la potencia total del grupo electrógeno.

Al calcular la potencia de los aparatos eléctricos es necesario tener en cuenta la potencia máxima de los equipos, que se produce en el momento del arranque de motores eléctricos. A modo de seguridad la potencia máxima será 3 veces la potencia nominal de los equipos. Solo se aplicara este criterio en aquellos equipos mecánicos cuya potencia no es contante a lo largo del tiempo. En la siguiente tabla se calculan la potencia:

Potencia: Equipos	$ \begin{aligned} P &= (3 \text{ lámparas} \times 60 \text{ W}) \\ &+ (6 \text{ dosificadores} \times 100 \text{ W}) \\ &+ (6 \text{ instrumento control} \times 500 \text{ W}) \\ &+ (9.000 \text{ W} \times 3 + 2.000 \text{ W} \times 3) \\ &+ (2.300 \text{ W} \times 3 + 3.400 \text{ W} \times 3) \\ &= 53.880 \text{ W} = 53,880 \text{ kW} \end{aligned} $
Lámparas 60 W	
Filtros arena. 2.000 W	
Filtro carbón activo. 2.300 W	
Ultrafiltración. 3.400 W	
Dosificadores 100 W	
Motores presión 9.000 W	
Instrumentación control. 500 W	

Tabla 4.10. Potencia del equipo electrógeno

Se aplicará un factor de seguridad del 10 %, por no considerar determinados equipos eléctricos que funcionaran en la planta.

$$53,880 \text{ kW} \times 1,1 = 59,268 \text{ kW}$$

Es necesario calcular la potencia aparente, la cual representa la Potencia total desarrollada en un circuito. Para saber la potencia aparente del generador, el cual posee funciona con corriente alterna se dividirá por un factor de potencia igual a 0,8.

$$59,268 \text{ kW} / 0,8 = 74,085 \text{ KVA}$$

Se necesitará un grupo electrógeno que 75 KVA de Potencia aparente cuyas características son:

Modelo	64 GF (LDE)-R6105ZD
Potencia máxima salida OUT	80 KVA
Motor	4 cilindros en línea Inyección directa Turbo
Velocidad de Giro	1.500 R.P.M
Potencia Máxima del Motor	75 HP
Cilindrada	4.330 cm ³
Refrigeración	Por agua con radiador Cayvo
Compresión	17:01
Consumo Fuel (g/Kw.h)	230
Sistema insonoro	Completo 70 dB a 7 Metros
Sistema de Arranque	Digital, llave AMF = Auto Mains Failure
Autonomía sin repostar	12 Horas
Peso total	2.000 kg
Dimensiones (mm)	2.800 mm x 1.300 mm x 1.650 mm

Tabla 2.11. Características del equipo electrógeno

4.3.3.3. Conducciones de bombeo

Para este tipo de tratamiento de agua es necesario operar con unas conducciones cómodas, ligeras y maniobrables. Del mismo modo se deben emplear unas tuberías utilizadas internacionalmente, para lo cual se seleccionarán unas tuberías con diámetros estándares de 50,8 mm, utilizables para la motobomba y para la estación depuradora.

4.3.3.3.1. Conducción rígida

Para la toma de agua desde la fuente de agua bruta hasta la motobomba se emplea una tubería rígida de PVC; se caracteriza por:

- Ser una red indeformable.
- Gran flexibilidad.
- Pared interior lisa.
- Resistencia a la abrasión de pequeñas partículas sólidas.
- Empleada en succión de líquidos.



Ilustración 4.4. Tubería rígida de PVC

4.3.3.3.2. Conducción semirrígida

Para la distribución del agua tomada por la motobomba hasta la planta de tratamiento se empleará una tubería semirrígida de PVC; se caracteriza por:

- Poseer refuerzo interno con hilos de poliéster.
- Bajo peso.
- Buen almacenamiento al abarcar menos volumen que otra clase de tuberías.



Ilustración 4.5. Tubería semirrígida de PVC y uniones

4.4. Dosificación y almacenamiento de reactivos

A continuación se procederá a explicar los tipos de reactivos que se van a utilizar, del mismo modo que su dosificación, almacenamiento en el contenedor TIR y motivo de su uso. En la tabla siguiente se muestran los distintos reactivos, las concentraciones utilizadas de los mismos y su especificación de uso.

Reactivos	Dosis (PPM)	Uso
Sulfato de aluminio	30	Coagulante
<i>Almidón de patata</i>	8	Floculante
Hidróxido de calcio	5	Regulador de pH
Hipoclorito cálcico	0,5	Precloración
	0,6	Postcloración

Tabla 4.12. Reactivos a utilizar, concentración y uso

A continuación se procede a particularizar el diseño de cada sistema de dosificación, así como su almacenamiento.

4.4.1. Sulfato de aluminio

Es uno de los principales agentes coagulantes en el tratamiento de las aguas de consumo humano, caracterizado por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación, favoreciendo a la disminución de la carga bacteriana, así como la mejora del color y sabor de la misma.

Este compuesto se caracteriza por presentarse en estado polvo cristalino de color blanco brillante, es inodoro y muy soluble en agua.

Se ha optado por emplear sulfato de aluminio sólido por el menor volumen que abarca en el contenedor. Además de por la mayor facilidad tanto de manejo como en términos legales de su transporte.

Respecto al uso de coagulante y floculante hay que remarcar la importancia de realizar un *Jar Test* previo al comienzo del tratamiento del agua para conocer cuál es la cantidad exacta de reactivos a utilizar según cada tipo de agua. Este método consiste en adicionar en diferentes cubetos la misma cantidad de agua que se va a utilizar para la alimentación. Tras esto, se deben echar distintas cantidades de coagulante primero y floculante después. Hay que destacar la importancia de que tanto la agitación (vigorosa para coagulación y lenta para la floculación) como el tiempo de contacto (menor para la coagulación mayor para la floculación) estén bien reproducidos durante esta prueba. Finalmente se observan los distintos resultados obtenidos y tomando como referencia el que haya dado los mejores flóculos se elegirán las cantidades de reactivos a utilizar. En la ilustración 4.7 se observa un ejemplo de *Jar Test* realizado en laboratorio.

Alternativa seleccionada



Ilustración 4.6. Jar Test

Datos

Riqueza	65 %
Caudal	33,75 m ³ /h
PPM	30
Días de almacenamiento	30

Diseño

Dosis horaria necesaria	1,6 kg/h
Cantidad diaria necesaria	24,9 kg/día
Cantidad a almacenar total	750 kg
Contenedor (número y peso)	2 de 500 kg

Tabla 4.13. Datos y diseño del equipo de dosificación del sulfato de aluminio

4.4.2. Almidón de patata

Se caracteriza por ser un floculante natural y barato, muy cómodo de ser transportado. Siempre ha sido frecuente el uso de polielectrolitos como sustancias floculantes, ya que dan muy buenos resultados. En este caso se ha decidido utilizar almidón de patata ya que, aunque es menos eficaz que los polielectrolitos, se trata de una sustancia natural, inerte cuyos fangos son mucho más estables y menos dañinos que los producidos por el uso de reactivos químicos. En este caso elegir los productos menos contaminantes para participar en el proceso frente a otros más agresivos es muy importante, ya que no habrá tratamiento de fangos y estos serán vertidos directamente al medio. De esta manera se reduce la contaminación producida por dichos vertidos.

Datos	
Riqueza	98 %
Caudal	33,75 m ³ /h
PPM	8
Días de almacenamiento	30
Diseño	
Dosis horaria necesaria	270 g/h
Cantidad diaria necesaria	4,32 kg/día
Cantidad a almacenar total	129,6 kg
Contenedor (número y peso)	1 de 150 kg

Tabla 4.14. Datos y diseño de dosificación del almidón de patata

4.4.3. Hidróxido de calcio

Reactivo empleado principalmente para neutralizar la acidez y favorecer la disminución de la turbidez; también, dependiendo del agua que se vaya a tratar, favorece a eliminar sílice y otras impurezas del agua bruta.

Es un producto sólido que se debe manejar siempre con protección ya que puede irritar las vías respiratorias y la piel; así mismo puede ocasionar graves daños oculares.

Es importante la regulación del pH al principio del tratamiento ya que este es un parámetro que determina la eficacia de los siguientes procesos. Un pH neutro rebaja la cantidad de coagulante que utilizar (como muestra la ilustración 4.8), además de evitar problemas de corrosión o de precipitación de sustancias químicas en los equipos.

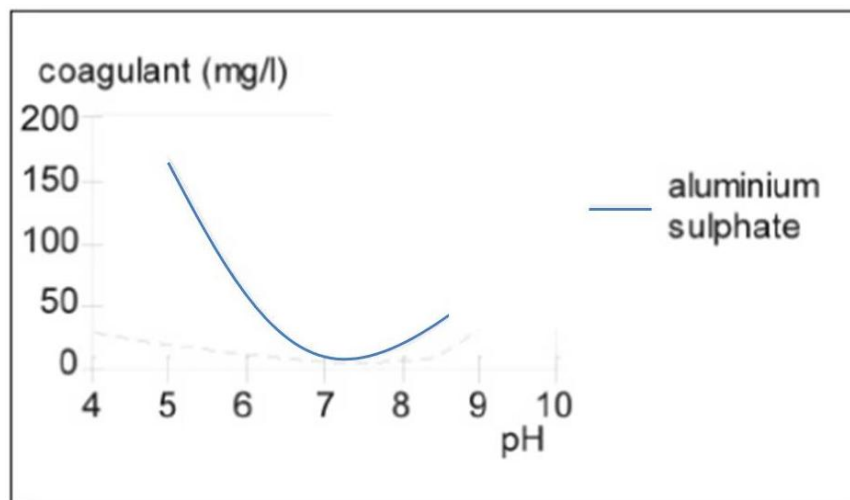


Ilustración 4.7. Relación entre pH y cantidad de coagulante.

Datos

Riqueza	98 %
Caudal	33,75 m ³ /h
PPM	5
Días de almacenamiento	30

Diseño

Dosis diaria necesaria	170 g/h
Cantidad diaria necesaria	2,8 kg/día
Cantidad a almacenar total	82,7 kg
Contenedor (número y peso)	1 de 100 kg

Tabla 4.15. Datos y diseño del equipo de dosificación del hidróxido de calcio

4.4.4. Hipoclorito cálcico

Reactivo antiséptico muy empleado en el tratamiento de aguas por su eficacia contra algas, bacterias, hongos y moho, eliminando también muchos microorganismos patógenos para la salud humana que se desarrollan en el agua.

Su reconocimiento en el agua es similar al del hipoclorito sódico al desprender el mismo olor. Se debe emplear muy cuidadosamente ya que es comburente, puede provocar quemaduras en la piel y lesiones oculares graves.

Datos

Riqueza	70 %
Caudal	33,75 m ³ /h
PPM	0,9
Días de almacenamiento	30

Diseño

Dosis diaria necesaria	53 g/h
Cantidad diaria necesaria	849 g/día
Cantidad a almacenar total	25,5 kg
Contenedor (número y peso)	2 de 15 kg
Cantidad a usar en precloración	26 g/h
Cantidad a usar en postcloración	31 g/h

Tabla 4.16. Datos y diseño del equipo de dosificación del hipoclorito cálcico

La precloración y la postcloración se hacen en un tanque de cloración, con un sistema automático de dosificación en un tanque.

La solución de hipoclorito cálcico se prepara en un recipiente limpio de polietileno, en el que primero se le agrega el volumen de agua requerido y después se procede a echar la cantidad del hipoclorito. A continuación se procede a una mezcla lenta y continua con un agitador de madera o metal hasta que todos los carbonatos y materiales insolubles precipiten en el fondo.

4.5. Limitaciones a considerar

4.5.1. Altura

La altura máxima interior de 2,393 m no es superada por ningún equipo.

El equipo que mayor altura tiene es el de ultrafiltración con 2,30 m.

4.5.2. Peso

El peso que el contenedor no debe superar es de 28.750 kg, para ello se han cuantificado las taras de cada uno de los equipos.

Equipos principales	Peso
Equipo decantador lamelar compacto	1.470 kg
Equipo de filtración de sílex - antracita	3.897,6 kg
Equipo de filtración de carbón activo	1.188 kg
Equipo de ultrafiltración compacta	4.765 kg
PESO TOTAL	11.320,6 kg

Tabla 4.17. Peso de los equipos principales

Equipos auxiliares	Peso unitario	Peso total
Motobomba	47 kg	47 kg
Equipo electrógeno	1.000 kg	1.000 kg
Conducción rígida	1,5 kg/m x 10 m	15 kg
Conducción semirrígida	1 kg/m x 50 m	50 kg
Bombas dosificadoras	3 kg/unidades x 6 unidades	18 kg
PESO TOTAL		1.130 kg

Tabla 4.18. Peso de los equipos auxiliares

Reactivo	Peso
Sulfato de aluminio	750 kg
Almidón de patata	129,6 kg
Hidróxido de calcio	82,7 kg
Hipoclorito cálcico	25,5 kg
PESO TOTAL	987,8 kg

Tabla 4.19. Peso de los reactivos almacenados

Equipo	Peso
Establecimiento	10 kg
Mantenimiento	30 kg
PESO TOTAL	40 kg

Tabla 4.20. Peso de otros equipos

Grupos de equipos	Peso
Equipos principales	10.320,6 kg
Equipos auxiliares	1.130 kg
Reactivos	987,8 kg
Otros equipos	40 kg
PESO TOTAL	13.478,4 kg

Tabla 4.21. Peso total del grupo de equipos

El peso total que se ha alcanzado no supera a la mitad de la carga máxima 28.750 kg, obteniendo un peso suficiente para poder realizar la instalación y transporte del conjunto de la instalación.

4.5.3. Superficie

Todos los equipos que componen la planta no superan la superficie máxima disponible (Anexo I), quedando espacios libres en los laterales para la instalación de estanterías que aumentan la superficie de almacenaje.

Otros objetos como las tuberías se pueden introducir en los tanques, reduciendo así el volumen necesitado.

5. Estudio económico

5.1. Costes construcción

A continuación se procede a especificar los distintos costes generados por la construcción de la planta completa. Se incluyen tanto el coste del contenedor donde se transporta como los diferentes equipos tanto principales como auxiliares.

5.1.1. Coste equipos principales

Equipos principales	Costes unitarios	Coste total filtros
Decantador & Coagulador - Floculador	11.300 €	
Filtro sílex unitario	6.000 € X 2 Unidades	12.000 €
Filtro carbón activo	8.000 € X 2 Unidades	16.000 €
Equipo ultrafiltración	24.000 €	
COSTE TOTAL	63.300 €	

Tabla 5.1. Coste de los equipos principales

El coste total de los equipos principales de la planta es de **SESENTA Y TRES MIL TRESCIENTOS EUROS**.

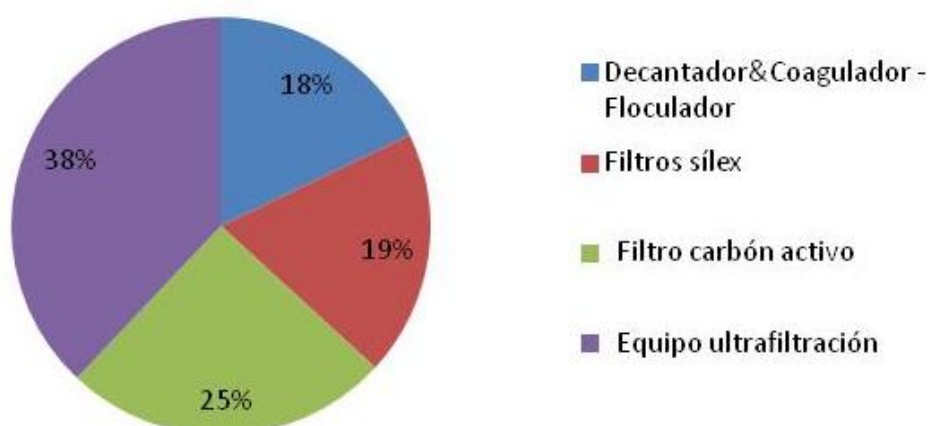


Ilustración 5.1. Porcentajes de costes de equipos principales

5.1.2. Coste equipos auxiliares

Equipos auxiliares		Costes unitarios	
Equipos de bombeo	Motobomba	1.800 €	Coste total bombeo presión
	Equipo bombeo a presión	3.700 € X 2	7.400 €
Equipo electrógeno		11.000 €	Coste total bombas dosificación
Bombas dosificación		250 € X 6	1.500 €
COSTE TOTAL		21.700 €	

Tabla 5.2. Coste de los equipos auxiliares

El coste total de los equipos auxiliares asciende a VEINTIUN MIL SETECIENTOS EUROS.

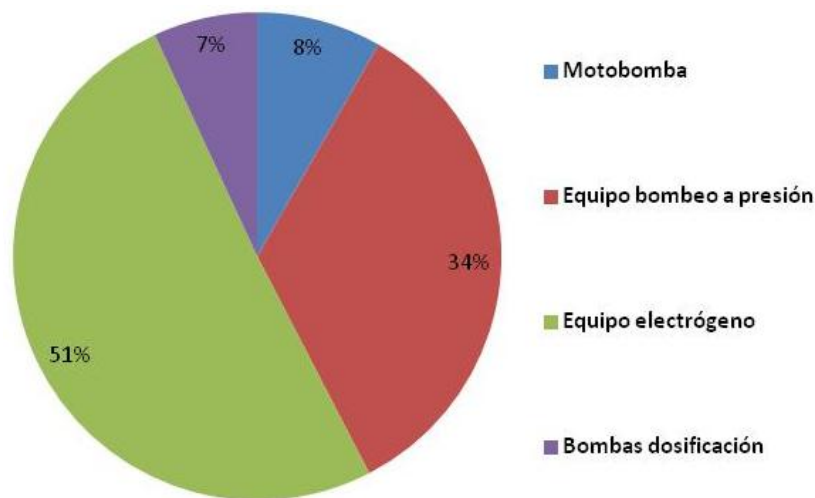


Ilustración 5.2. Porcentajes de costes de equipos auxiliares

5.1.3. Mangueras y uniones para el transporte del agua hasta la planta

Conducciones	Distancias	Diámetro	Manguera	Uniones	Largo manguera	Total mangueras	Total uniones	Precio mangueras	Precio uniones
Fuente agua-Bomba	10 m	50,8 mm	6,83 €/m	34,10 €/m	5 m	2 unid.	1 unid.	68,30 €	34,10 €
Bomba-ETAP	50 m	50,8 mm	5,10 €/m	34,10 €/m	5 m	10 unid.	9 unid.	255,00 €	306,90 €
Coste total por sistema								323,30 €	341,00 €
Coste total final									664,30 €

Tabla 5.3. Coste de las mangueras y uniones para el transporte de agua

El coste total de las mangueras y uniones para llevar el agua de la zona de captación a la planta es de **SEISCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON TREINTA CENTIMOS**.

5.1.4. Contenedor

Equipo	Precio
Contenedor 40' TIR STANDARD	3.500 €
Modificación de las puertas (Double Door-Open Side)	1.000 €
COSTE TOTAL	4.500 €

Tabla 5.4. Coste del contenedor

El coste final que supone el contenedor es de **CUATRO MIL QUINIENTOS EUROS**.

5.1.5. Coste construcción final

Por todo lo anterior el coste final de construcción de la planta se determina en **NOVENTA MIL CIENTO SESENTA Y CUATRO EUROS CON TREINTA CENTIMOS.**

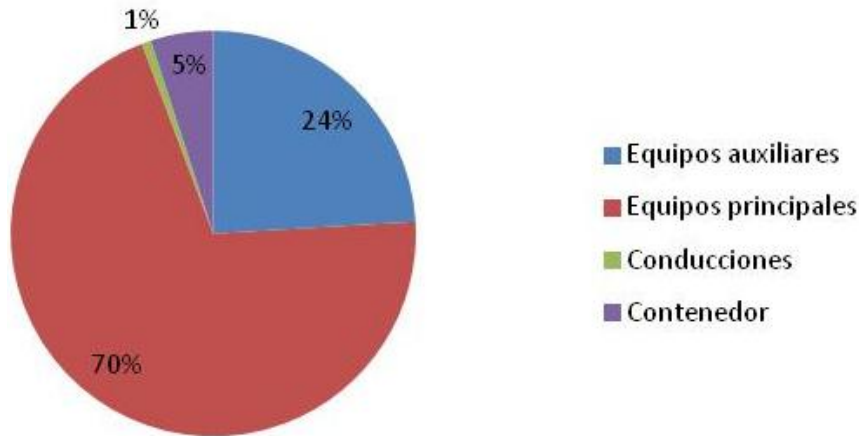


Ilustración 5.3. Porcentajes de costes de construcción

El grupo de equipos que posee mayor valía son los principales, representando más de dos terceras partes del coste total. Esto es así ya que son los equipos que realmente llevan a cabo la limpieza del agua, son los más específicos y tecnológicamente avanzados. En contrapartida, se encuentran las conducciones al ser productos baratos y mucho más genéricos.

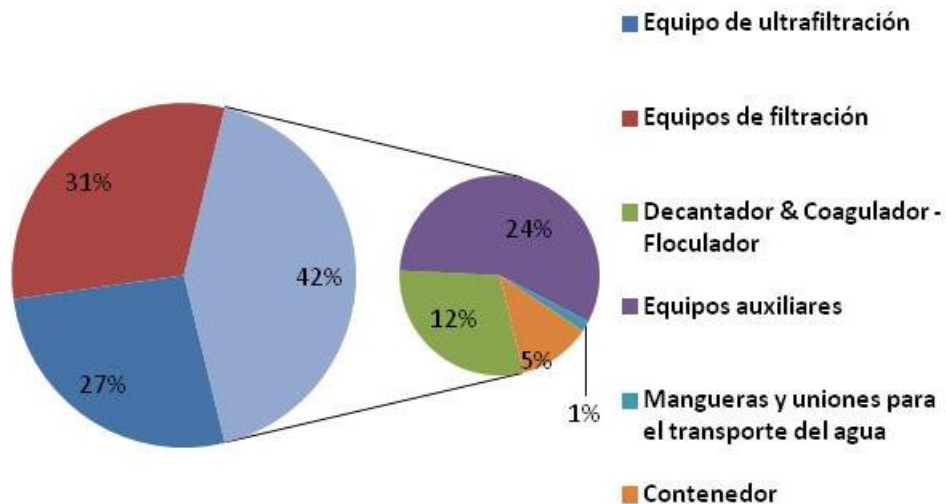


Ilustración 5.4. Porcentaje de costes de construcción por apartados

Los equipos más caros son los dos de filtración y el de ultrafiltración debido a la complejidad de sus módulos. Ambos representan más del 50% de coste total de la planta. Cabe destacar que el coste del contenedor TIR representa únicamente un 5% del coste total.

5.2. Explotación y mantenimiento

A continuación se determinarán los costes mensuales para la explotación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua en un periodo de un mes, ya que se estima este tiempo como un periodo medio estándar de funcionamiento de la planta.

5.2.1. Costes fijos

5.2.1.1 Personal

Categoría	Cantidad	Dedicación	Sueldo bruto	Coste mensual
Jefe Planta	1	40 %	2.900 €	2.900 €
Operario	1	30 %	1.150 €	1.150 €
Peón	1	30 %	1.000 €	1.000 €
TOTAL				5.050 €

Tabla 5.5. Costes del personal

Todo el personal no estará dedicado simultáneamente en el seguimiento y control de la planta de tratamiento. Del mismo modo no se consideran otros costes fijos, como absentismo laboral u horas extra puesto que al ser un periodo de tiempo muy corto, el personal estará siempre dedicado al proceso

El coste final que supone el equipo del personal es de **CINCO MIL CINCUENTA EUROS MENSUALES**.

5.2.1.2. Establecimiento

Concepto	Unidades	Coste unidad	Coste mensual
Mascarillas anti-polvo	2	3 €	6 €
Gafas protectoras	2	12 €	24 €
Guantes protección	2	20 €	40 €
Cascos	2	30 €	60 €
Equipos taller	1	500 €	500 €
Equipos laboratorio	1	900 €	900 €
Equipos mobiliario	1	800 €	800 €
Alquiler vehículo	1	150 € / día	600 € (4 días)
TOTAL			2.930 €

Tabla 5.6. Costes del establecimiento

El alquiler del vehículo solo se consideraran unos días, que incluyen los periodos de transporte del contenedor al puerto y retirada del puerto al punto de destino del contenedor.

El coste final que supone el establecimiento es de **DOS MIL NOVECIENTOS TREINTA EUROS MENSUALES**.

5.2.1.3. Mantenimiento y conservación

Se trata de una de los apartados más importantes a considerar y valorar en las instalaciones. La vida útil, el estado de conservación y los rendimientos del conjunto dependen muy directamente de ello de este proceso.

Concepto	Unidades	Coste unidad	Coste mensual
Grasa y lubricante	1	250 €	250 €
Equipos control proceso	5	20 €	100 €
Equipos control bombeo	2	50 €	100 €
Equipos dosificación	1	10 €	10 €
Decantación	1	150 €	125 €
Filtración	1	100 €	100 €
Revisión, reparación, sust.	1	50 €	50 €
Servicios auxiliares	1	100 €	100 €
TOTAL			755 €

Tabla 5.7. Costes de mantenimiento y conservación

El coste final que supone la conservación y mantenimiento es de **SETECIENTOS CINCUENTA Y CINCO MIL EUROS MENSUALES**.

5.2.1.4. Varios

Concepto	Coste mensual
Formación	200 €
Seguros	1.000 €
Tasas e impuestos	500 €
Material laboratorio	300 €
TOTAL	2.000 €

Tabla 5.8. Costes varios

El coste final que supone la sección de costes varios es de **DOS MIL EUROS MENSUALES**.

5.2.1.5. Coste fijo total

El coste total fijos es de **DIEZ MIL SETECIENTOS TREINTA Y CINCO EUROS MENSUALES**.

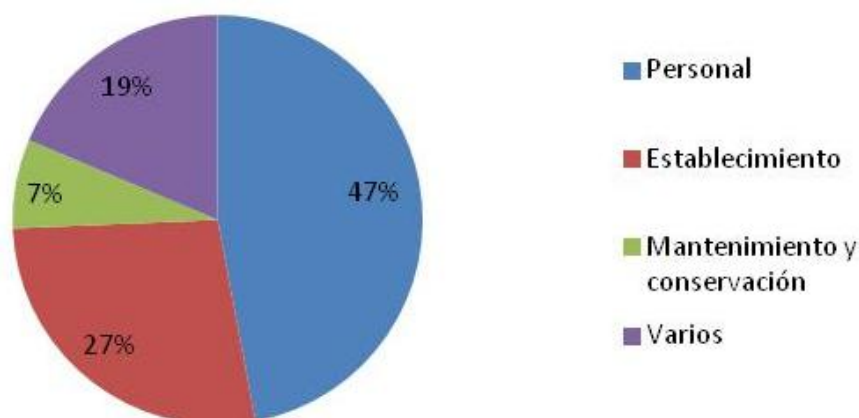


Ilustración 5.5. Porcentaje de costes fijos

Casi el 50% de los costes fijos corresponden a los sueldos del personal. Al representar un trabajo de riesgo con condiciones difíciles de operación y bajo mucha presión hay que tener bien en consideración esta partida. Hay que destacar el poco porcentaje que representa el mantenimiento y conservación de la planta. Esto se ha conseguido eligiendo equipos resistentes y fáciles de operar y que garanticen un buen funcionamiento.

5.2.2. Costes variables

5.2.2.1. Gasoil consumido

Equipo	Consumo gasoil (l / día)	Precio medio gasoil (€ / l)	Coste mensual
Motobomba	25,5	0,80	614,40 €
Grupo electrógeno	277,1	0,80	6.650,00 €
TOTAL			7.264,40 €

Tabla 5.9. Costes del gasoil consumido

Para el cálculo de esta variable se ha cogido el precio medio del gasoil a nivel mundial.

El coste final que supone el gasoil consumido es de SIETE MIL DOSCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS MENSUALES.

5.2.2.2. Reactivos

Reactivo	Cantidad (kg/mes)	Precio (€ /kg)	Coste mensual
Sulfato de aluminio	747	0,30	224,30 €
Almidón de patata	130	0,11	13,90 €
Hidróxido de calcio	83	0,18	14,90 €
Hipoclorito de calcio	25,5	0,24	6,10 €
TOTAL			259,20 €

Tabla 5.10. Costes de los reactivos

El coste final que supone los reactivos es de **DOSCIENTOS CINCUENTA Y NUEVE EUROS Y VEINTE CENTIMOS MENSUALES**.

5.2.2.3. Transporte del contenedor por mar

Como costes variables se valora principalmente el precio del barco desde el puerto origen al puerto destino. Para ello se ha considerado el coste medio del transporte directo de un contenedor entre cualquier puerto español y la capital haitiana de Puerto Príncipe (5.500 €), y al necesitar un transporte urgente y rápido se duplica su valor.

El coste final que supone el transporte es de **ONCE MIL EUROS MENSUALES**.

5.2.2.4. Coste variable total

El total de costes variables es de **DIECIOCHO MIL QUINIENTOS VEINTITRES EUROS CON SESENTA CENTIMOS MENSUALES**.

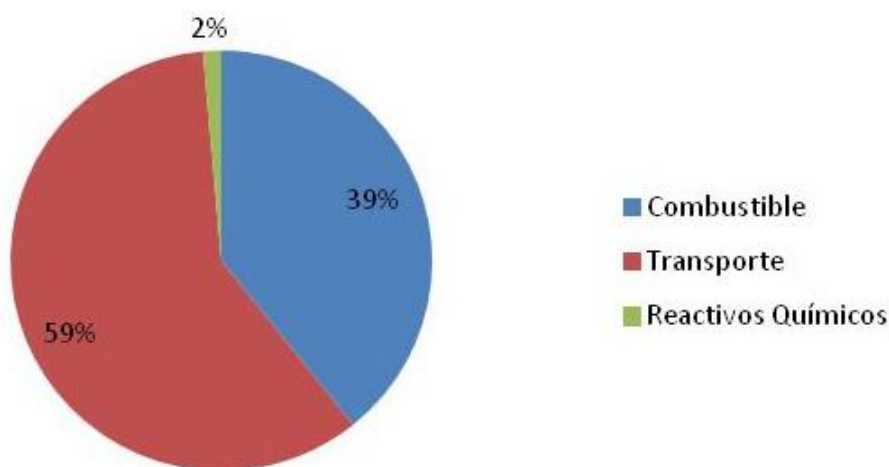


Ilustración 5.6. Porcentaje de costes variables

Los costes variables se han supuesto sobre una situación supuesta hipotética. El transporte se ha calculado para realizar un viaje transatlántico y de manera urgente. Este coste variará mucho dependiendo del tiempo que se disponga para llegar a la zona y de a dónde se tenga que dirigir el equipo.

Respecto al combustible, se ha calculado suponiendo un uso de todos los equipos de la planta (incluida ultrafiltración) durante un mes. Esto supone que en este caso dicho coste está calculado a lo máximo posible que podría representar. Siempre que no sea necesaria la

utilización de dicho sistema, el cual representa uno de los mayores costes de combustible, esta partida bajará.

La cantidad de reactivos a utilizar dependerá mucho de la calidad del agua a tratar. Si el agua prepotable con la que se va a trabajar es de muy mala calidad supondrá una utilización de reactivos químicos mucho mayor (mayor cantidad de desinfectante, coagulante, floculante, regulador de pH...) que si el agua es de mejor calidad. Es este último caso la utilización de reactivos será menor ya que las condiciones iniciales del agua estarán más cerca de parecerse a las condiciones finales necesarias de potabilización.

5.2.3. Costes totales de explotación

La sumatoria de los costes fijos y variables hace un total de **VEINTINUEVE MIL DOSCIENTOS CINCUENTA Y NUEVE EUROS MENSUALES** de costes totales en la Estación compacta de Tratamiento de Agua Potable.

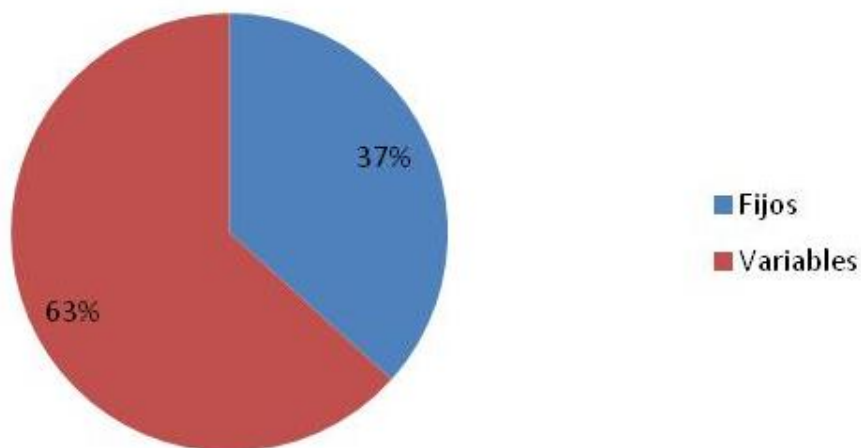


Ilustración 5.7. Porcentaje de costes de explotación

En el anterior gráfico se observan cómo se reparten los gastos fijos respecto a los variables. Se puede observar que los variables representan casi el doble que los fijos. Como ya se ha explicado anteriormente la calidad del agua a tratar es muy importante a la hora de reducir costes variables, por lo que encontrar una buena fuente de agua es algo principal para aceptar la viabilidad de la planta.

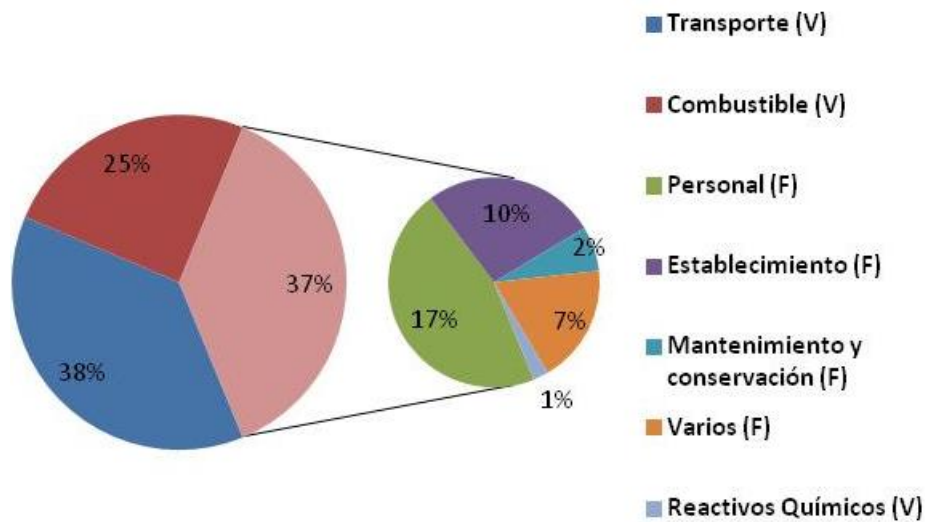


Ilustración 5.8. Porcentajes de costes de explotación por apartados

Junto a los gastos asociados a la energía en tercer lugar queda el sueldo del personal, el cual queda relegado a una tercera posición por la escasa necesidad de plantilla importante. En contrapartida quedan los gastos asociados a reactivos químicos, mantenimiento y conservación, los cuales se han pretendido buscarlo a un módico precio y las cantidades necesarias para operar la planta durante un mes.

Cabe destacar que, como rango de comparación y estimación final de los costes de explotación el precio del m^3 de agua sería de 1,80 €.

$$\frac{29.260 \frac{\text{€}}{\text{mes}}}{16.224 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}} = 1,80 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

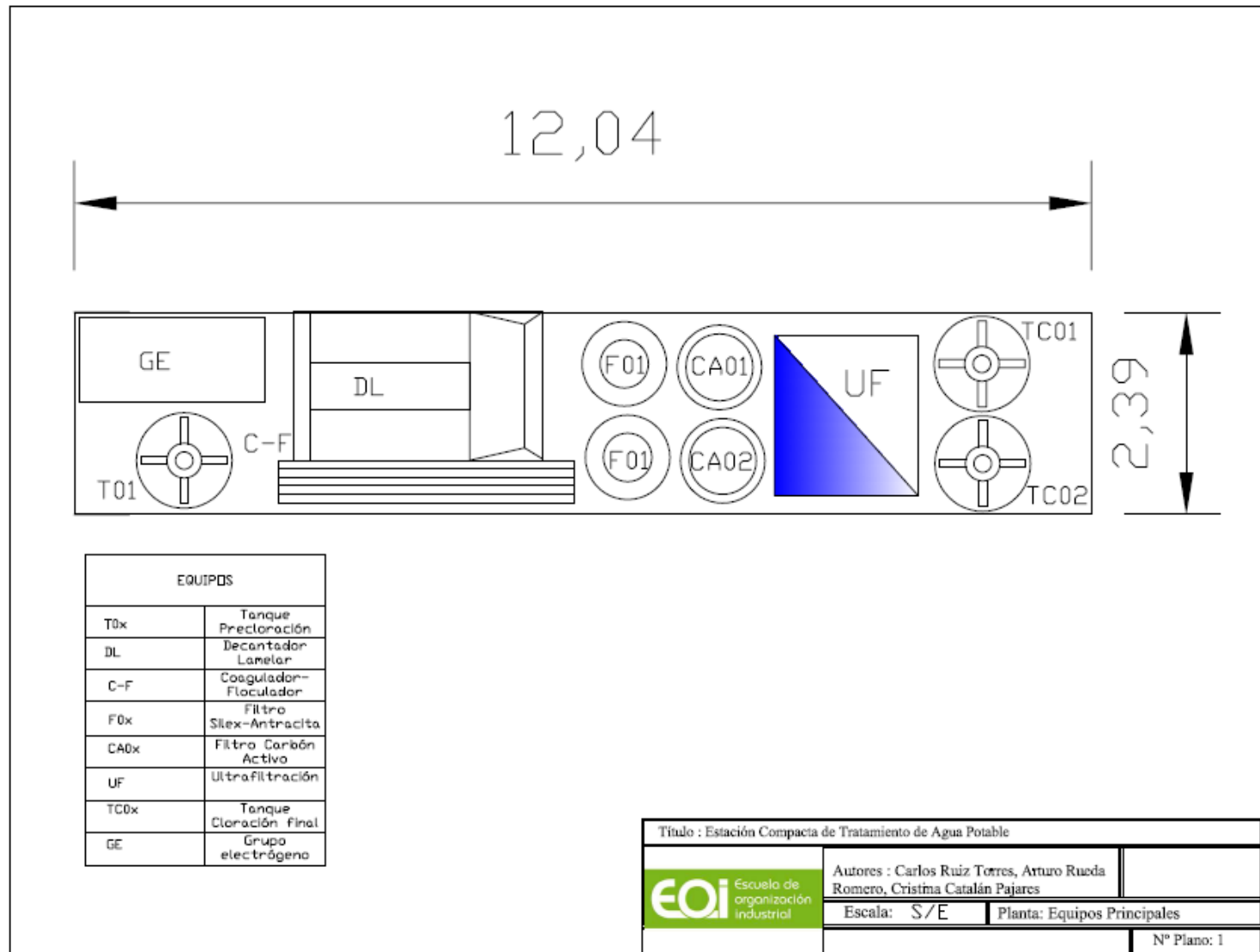
6. Conclusiones

Tras completar el diseño y el estudio económico se puede determinar:

- Que el precio total de construcción de la planta está dentro de los márgenes de mercado y es capaz de competir con los sistemas que ya se encuentran en funcionamiento.
- Que el precio de obtención del metro cúbico es de 1,8 €. Esto muestra que sus costes de explotación tampoco son excesivos, contando dentro de dicho presupuesto con la gran partida que representa el transporte de la planta hasta el lugar de actuación.
- Que se ha cumplido en todo momento con limitaciones técnicas existentes. Se ha conseguido acoplar una planta completa para abastecer a gran cantidad de personas con equipos eficaces y dentro de un espacio reducido.
- Que el diseño de la planta cuenta con la capacidad de poder tratar agua de muy diversas características y calidades, pudiéndose ajustar cada vez a la situación requerida. Dicha adaptabilidad permite ajustar tanto la calidad final necesaria como el consumo de reactivos y energía a cada situación, evitando desgaste de equipos o consumos excesivos cuando no son necesarios.

7. Anexos

Anexo I. Distribución de la estación



Anexo II. Calidad y cantidad aguas abastecimiento:

Provide adequate and appropriate water supply facilities

The main issues for water supply facilities are their:

- Quality
- Quantity
- Accessibility

Water quality

Provide water of acceptable quality

No pathogens	Free residual chlorine concentration at distribution points • 0.2 - 0.5 mg/l (if pH < 8) minimum 30 minutes contact time • 0.4 - 1.0 mg/l (if pH > 8) minimum 60 minutes contact time or max 10 E.Coli/100 ml at discharge points if chlorination is really not possible
Low turbidity	• < 5NTU • < 20NTU is permissible in an acute emergency
Low concentration of compounds that are acutely toxic or that have serious long-term effects	Context specific; in case of doubt, contact your technical referent
Acceptable to users	• Water not rejected due to colour, taste, odour or salinity

Regular surveys done at all water points

Water quantity and accessibility

Provide adequate quantities of accessible and reliable water

Scenario	Quantity/ person/day	Max. distance to source	Min. storage capacity and distribution
Acute emergency: first days	3 – 5 l	No max. distance	• Min. collective storage capacity: 5 l/person (so for 1000 persons, a bladder of 5 m ³ is needed) • Min. household transport / storage capacity: 40 l/household
Acute emergency: as soon as possible	15 – 20 l		• Distribution:
Chronic emergency and stabilised situation	15 – 20 l, but no restriction on quantity	Max. 250 m	→ 1 tap/200 - 250 persons → 1 hand pump/500 (- 750) persons

- Keep in mind that up to 20 % of the water can get lost through leaks and spillage
- Water could also be foreseen for the beneficiaries'
 - Cattle: 30 l/animal/day
 - Small animals (e.g. goats): 5 l/animal/day

Anexo III. Posibles situaciones en las que utilizar plantas compactas puede ser útiles según la AECID

Según AECID (Manual de Requerimiento Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene)

“Algunas situaciones de emergencia donde el uso de plantas puede ser útil:

- *Inundaciones masivas donde todos los pozos y fuentes están o estaban inundados, y por tanto, contaminados. Situación con agua de alta turbidez.*
- *Terremotos donde los sistemas de agua entubada y plantas de tratamiento convencionales están destruidos o con roturas, y hasta que se restablezca el sistema una planta puede suministrar una pequeña parte de la red.*
- *En el caso de epidemias (cólera) donde una planta puede ser utilizada para el suministro a una pequeña parte de la población especialmente vulnerable o a un centro de tratamiento de cólera (si la fuente habitual está en riesgo de contaminación)*
- *Situaciones en las que el suministro de agua a los centros sanitarios está interrumpido y es necesario utilizar una fuente adicional o alternativa que no es segura.*
- *Lugares en los que se necesita una muy buena calidad de agua, pero la demanda de agua está limitada a unos 15 a 20 m³/día: centros nutricionales, centros médicos (hospitales, centros y puestos de salud), centros de tratamiento de cólera.*

En general, para el uso de plantas hablamos de situaciones con la contaminación del agua cruda en forma de:

- *Contaminación industrial confirmada (uso de carbono activado y/u ósmosis inversa en el tratamiento)*
- *Contaminación agro química confirmada (uso de carbono activado y/u ósmosis inversa en el tratamiento)*
- *Muchas algas finas que no se pueden reducir en el pre tratamiento (uso de pre cloración y filtro carbono en el tratamiento)*

- *Contaminación importante por salinidad y sin fuentes alternativas (uso de ósmosis inversa)*

Situaciones en las que habitualmente no es necesario (o contra productivo) el uso de plantas compactas de tratamiento:

- *Donde hay agua de pozos perforados profundos con menos de 5 NTU y sin contaminación química*
- *Donde se pueda montar una instalación de tratamiento de grandes caudales con un sistema batch, porque el lugar, contexto y conocimiento local lo permite y las fuentes no demuestran una contaminación química.*
- *En situaciones con una demanda de caudal alto, con una fuente de aguas superficiales sin contaminación química y con un NTU elevado (<200 NTU).”*

8. Bibliografía

8.1. Fuentes de información

- Documentación del módulo de Gestión de Aguas Potables del Máster Ingeniería y Gestión del Agua, EOI.
- Documentación del módulo de Agua y Cooperación, EOI.
- House S.; Reed B.; "Emergency water sources: guidelines for selection and treatment"; Water, Engineering and Development Centre (WEDC), Loughborough University (UK); 1997, ISBN: 0-906055-50-4 [en línea ref. 21 de junio de 2013]
<[http://www.allindiary.org/pool/resources/2011-5-8-emergency-water-sources-\(wedc\).pdf](http://www.allindiary.org/pool/resources/2011-5-8-emergency-water-sources-(wedc).pdf)>
- López Delgado, L.; Schiffer, A.; "Manual de Requerimiento Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene"; Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID); Primera Edición, Febrero 2012, NIPO: 502-12-015-4 [en línea ref. 21 de junio de 2013]
<http://www.aecid.es/galerias/noticias/descargas/2012/2012-06/Manual_de_Requerimientos_Mximos_para_Actuacionescortado.pdf>
- Delmas, G.; Courvallet M.; "Public Health Engineering In Precarious Situations"; Médecins Sans Frontières; Segunda Edición, 2010
- Quémerais B; "Water collection purification system"; Defense Research and Development Canada; Toronto; August 2006
- Steele, A.; Clarke B.; "Problems of treatment process selection for relief agency water supplies in an emergency"; Journal of Water and Health; 2008, volumen 6, número 4, pp. 483-489, ISSN: 14778920.
- "Manual TIR (ECE/TRANS/TIR/6/Rev 9.)"; Comisión Económica para Europa (CEE); Novena Edición Revisada, 2010, [en línea ref. 21 de junio de 2013]
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/tir/handbook/spanish/newtirhand/TIR-6Rev9_ES_bookmarks.pdf>

- "Carta humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria"; El Proyecto Esfera; Tercera Edición, 2011, ISBN: 978-1-908176-02-8 [en línea ref. 21 de junio de 2013]
<<http://www.acnur.org/biblioteca/pdf/8206.pdf?view=1>>

8.2. Referencias

1. "ERU Agua y Saneamiento"; Cruz Roja Española; [en línea ref. 18 de junio de 2013]
<http://www.cruzroja.es/portal/page?_pageid=174,12402422,174_12402435&_dad=portal30&_schema=PORTAL30>

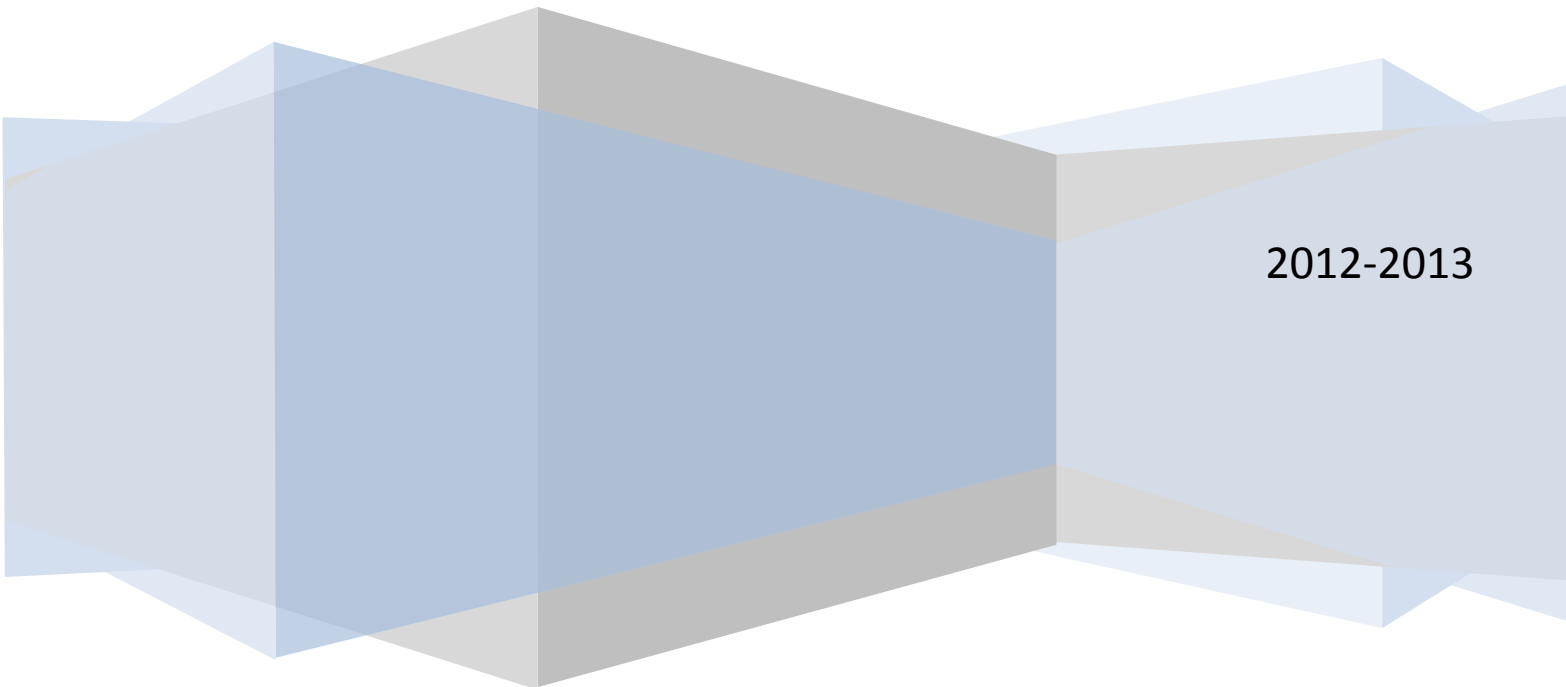


Escuela Organización Industrial.EOI

Estación Compacta de Tratamiento de Agua Potable

Proyecto Fin de Máster. MAGUA

Arturo Rueda Romero



2012-2013

Contenido

1. Introducción.....	3
2. ¿Qué se enciende por situación de emergencia?	3
2.1.Importancia del agua en casos de emergencia.....	3
3. Objetivos.....	4
4. Estudio	4
4.1.Características Planta	4
4.2.Características Agua.....	4
4.2.1.Agua bruta	4
4.2.2.Acceso al agua y cantidad disponible	5
4.2.3.Calidad del agua producto	5
4.3.Tratamientos	6
4.3.1.Eliminación de organismos patógenos	6
4.3.2.Eliminación de contaminantes químicos	7
4.3.3.Eliminación de turbidez	7
4.4.Comparación de soluciones	8
5. Alternativa seleccionada.....	9
5.1. Diagrama proceso	9
5.2. Descripción del método	10
5.2.1. Pretratamiento físico	10
5.2.2. Precloración	10
5.2.3. Coagulación-Floculación	10
5.2.4. Sedimentación	10
5.2.5. Filtración	10
5.2.6. Ultrafiltración.....	11
5.2.7. Postcloración	12
5.3.Contenedores.....	12
6. Diseño	13
6.1.Dotación.....	13
6.2.Equipos principales	13
6.2.1.Decantador lamelar compacto	13
6.2.2.Coagulador - Floculador.....	14
6.2.3.Filtración de sílex –antracita.....	14
6.2.4.Filtración de carbón activo	15
6.2.5.Ultrafiltración compacta.....	16
6.3.Equipos Auxiliares	16
6.3.1.Equipos de bombeo	16
6.3.2.Equipo electrógeno.....	17
6.3.3.Conducciones.....	18
6.5.Dosificación y almacenamiento de reactivos.....	19
7. Estudio económico	19
7.1.Costes construcción	19
7.2.Explotación y mantenimiento	20
8. Conclusiones.....	21

1. Introducción

El agua dulce es un recurso caracterizado por ser escaso, irremplazable y necesario para la subsistencia del ser humano.

A lo largo de la historia el progreso de los pueblos ha estado estrechamente vinculado con el agua afectando al desarrollo socioeconómico, cultural, etc. En las últimas décadas, esta relación ha adquirido mayor influencia en muchos puntos del globo debido al incremento en la frecuencia de desastres naturales y los conflictos armados; provocando numerosos daños, tanto humanos como materiales, que ralentizan su crecimiento.

Existen muchos países en vías de desarrollo que no pueden hacer frente a estos desastres, por lo que precisan la ayuda de otros estados u organizaciones no gubernamentales. Entre las medidas de ayuda se encuentra el traslado y creación de centros de abastecimiento portátiles que se encarguen de tratar el agua bruta más cercana y ofrecerla de un modo directo a la población afectada.

2. ¿Qué se entiende por situación de emergencia?

“Donde y cuando un desastre provoca una inmediata, excepcional y generalizada amenaza para la vida, la salud o la subsistencia básica, desbordándose la capacidad local de respuesta, y habiendo necesidad de asistencia externa.”(Fuente: ONU)

Los sistemas de abastecimiento de agua potable son especialmente vulnerables a los desastres naturales debido a que su destrucción no solo afecta al propio sistema, sino que también aumenta los riesgos sanitarios. Es decir, cuando el agua potable se contamina como resultado de un desastre, el riesgo de que la población contraiga enfermedades aumenta y la higiene se deteriora rápidamente.

2.1. Importancia del agua en casos de emergencia.

El 28 de julio de 2010 a través de la resolución 64/292, la asamblea general de Naciones Unidas *“Declara el derecho al agua potable y el saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos”*. Además incita a los Estados y organizaciones internacionales que ayuden con sus recursos financieros y a través de la transferencia de tecnología por medio de asistencia y cooperación internacional. Todo ellos para conseguir dotar a la población de un acceso al agua potable (y saneamiento) lo más rápido posible. Esto explica la necesidad de ayuda en caso de emergencia de, con las

capacidades del mundo desarrollado, conseguir que el derecho reconocido de tener acceso al agua potable se vea vulnerado el menor tiempo posible.

3. Objetivos

Se pretende marcar como meta la obtención de un nuevo diseño de una planta de tratamiento portátil para abastecer a una población en situación de emergencia.

Los objetivos específicos son:

- Determinar el proceso de tratamiento de agua más rápido, económico y eficiente.
- Diseño de la planta de tratamiento.
- Instalación de la planta de tratamiento en un contenedor TIR 40.
- Generación de un volumen de agua capaz de abastecer a una población de 5.000 personas.

4. Estudio

4.1. Características Planta

Se busca el diseño de una planta que cumpla con los siguientes requisitos:

- La instalación del equipo debe ser rápida y simple.
- Obra civil lo más sencilla y reducida posible.
- Fácil manejo.
- Minimizar utilización tanto los reactivos químicos como de mano de obra.
- Minimizar el consumo energético.
- Garantizar un tiempo de vida lo más largo posible.
- Garantizar calidad óptima para consumo humano.
- Fácil limpieza de equipos.
- Alto rendimiento que origine pocas pérdidas de agua.

4.2. Características Agua

4.2.1. Agua bruta

La toma de agua es una parte importante en el proceso, hay muchos factores que influyen en la elección de la captación de agua. Dependerá principalmente de:

- La disponibilidad, la proximidad y la sostenibilidad de una cantidad suficiente de agua (existencia de corrientes de agua, topografía, etc.)
- El contexto, aquí se incluyen factores sociales, políticos o jurídicos relativos a la fuente de agua, que pueden influir en la elección final.
- Características de las aguas que determinaran el tipo de tratamiento que se le va a dar en caso de ser necesario, y si este tratamiento es factible.

Las aguas superficiales son principalmente las aguas utilizadas en situaciones de emergencia por su mayor disponibilidad y facilidad de captación. Sin embargo, tienen el inconveniente de que sufren variación en sus caudales en función de la estación del año, o pueden sufrir grandes contaminaciones. En dichas situaciones será necesaria la búsqueda de alternativas como aguas subterráneas. Por tanto, dependiendo del lugar del mundo donde ocurran estas emergencias la procedencia de las aguas será distinta. En casos de desastre, a menudo es preciso utilizar en la fase inicial una combinación de métodos de abastecimiento y fuentes de agua.

4.2.2. Acceso al agua y cantidad disponible

A la hora de decidir las cantidades de agua necesarias para consumo doméstico, hay que considerar que estas varían según el clima, los hábitos de las personas, la disponibilidad de recurso, sus prácticas religiosas y culturales, etc. Según el Proyecto Esfera:

“Todas las personas tienen un acceso seguro y equitativo al agua en cantidad suficiente para beber, cocinar y realizar la higiene personal y doméstica, siendo la cantidad promedio de agua utilizada para beber, cocinar y realizar la higiene personal en los hogares es de al menos 15 litros por persona y por día”

En caso de que este sistema portátil de abastecimiento sea para una población de estabilidad permanente, la dotación deberá ser mayor, llegando a un caudal de 100 l por persona y día, dotación que se empleará para el diseño de los equipos de este proyecto.

4.2.3. Calidad del agua producto

El agua tratada debe reunir una serie de características relativas a su calidad:

a) Sabor

El agua debe tener un sabor agradable y calidad suficiente para beberla y utilizarla para la preparación de alimentos, la higiene personal y doméstica sin que ello entrañe riesgos para la salud. Aunque el sabor no es en sí mismo un problema que repercute directamente en la

salud, si el agua suministrada no tiene un sabor agradable, es probable que los usuarios prefieran beber agua de fuentes insalubres y pongan así en peligro su salud.

b) Turbidez

Previo al abastecimiento, el agua será sometida a una desinfección final con un oxidante residual como, por ejemplo, el cloro. Para poder desinfectar correctamente el agua la turbidez debe ser inferior a 5 NTU. A corto plazo, y únicamente en caso de emergencia se podrá desinfectar el agua que presenta un mayor grado de turbidez (20 NTU) empleando una doble dosis de cloro donde la concentración residual final sea superior a 1 mg/l. Tras esto se debe proceder a una filtración para reducir el grado de turbidez.

c) Coliformes

Las bacterias coliformes fecales (de las cuales más del 99% son E. coli) son un indicador del nivel de contaminación del agua por desechos humanos o animales y de la posible presencia de agentes patógenos peligrosos. Si aparecen este tipo de microorganismos el agua deberá ser tratada, ya que los requerimientos de calidad dicen que en una muestra de 100ml del agua de salida no deben aparecer coliformes fecales. Si no es posible realizar una cloración, en casos de emergencia, el contenido de coliformes deberá ser inferior a 10 mg/100 ml, pero será necesario someterla a una filtración.

4.3. Tratamientos

A la hora de elegir los sistemas de tratamiento que se van a utilizar hay que tener muy en cuenta las propias características del agua de partida citadas anteriormente. Por ello deben emplearse sistemas eficaces capaces de tratar los distintos parámetros dentro de los rangos establecidos.

4.3.1. Eliminación de organismos patógenos

En situaciones de emergencia la propagación de enfermedades transmitidas a través del agua puede originar grandes epidemias y altas mortalidades entre la población, por ello su eliminación es prioritaria. Entre los principales tratamientos de desinfección del agua se encuentran:

4.3.1.1. Desinfección física:

Se basa en procesos en los que no se emplean reactivos de ningún tipo, únicamente intervendrán elementos físicos como calor o luz ultravioleta. Algunas técnicas son hervir el agua, usar lámparas de luz ultravioleta o utilizar barreras físicas como filtros con un tamaño de malla que impida el paso de organismos patógenos

4.3.1.2. Desinfección química

Se basan en el empleo de químicos como el ozono o el cloro, los cuales son capaces de desinfectar el agua por su gran capacidad de oxidación.

4.3.2. Eliminación de contaminantes químicos

Debido a la enorme cantidad de sustancias químicas existentes es muy difícil determinar si un agua está contaminada y conocer por qué sustancia. Además, la eliminación de sustancias químicas suele ser difícil y costosa. Lo más recomendable es, ante un agua con contaminación química, cambiar el lugar de captación de agua a otro que permita obtener agua de mayor calidad.

4.3.3. Eliminación de turbidez

Muchos métodos de desinfección solo son realmente efectivos cuando existe una pequeña cantidad de sólidos en suspensión en el agua. Normalmente se aconseja realizar un pretratamiento de sedimentación previo a la desinfección para eliminar sólidos en suspensión cuando la turbidez supera los 5 NTU en situaciones estandarizadas o 20 NTU en situaciones de emergencia como ya se ha comentado.

4.3.3.1. Procesos de sedimentación.

La sedimentación natural es un proceso por el cual las partículas más “pesadas” que el agua caen naturalmente por efecto de la gravedad al fondo del lecho pudiendo arrastrar microorganismos patógenos, los cuales morirán al quedar retenidos en la base del recipiente.

Los grandes tiempos de retención que necesita este sistema hace que no sea muy útil emplearlo en casos de emergencia. Para acelerar el proceso, se suelen emplear coagulantes que permiten la unión de pequeñas moléculas para crear otras más grandes de mayor

densidad, haciendo que su precipitación se realice en menor tiempo (*sulfato de aluminio o cloruro férrico*). A este proceso se le suele conocer como “sedimentación asistida”.

4.3.3.2. Procesos de filtración.

Los procesos de filtración usan medios porosos para separar los sólidos del agua. Estos equipos permiten el paso del agua a la vez que retienen los sólidos de tamaño mayor al de los poros que posee. Normalmente los filtros lentos de arena y los filtros superficiales reducen la turbidez pero se saturan en seguida. En situaciones de emergencia es mucho más común el uso de filtros rápidos de arena, ya que se saturan mucho más lentamente. Los procesos de filtración pueden colocarse tras la sedimentación, o incluso realizar la coagulación-floculación del agua justo delante de estos sistemas para posteriormente pasar directamente a la desinfección.

4.4. Comparación de soluciones

A continuación se adjuntan varias tablas con los métodos a emplear en un tratamiento de agua y una comparación entre los distintos sistemas que posee cada método. Con esta comparación se pretende conseguir de una manera rápida y visual la mejor de las combinaciones de sistemas para obtener una planta útil que ofrezca agua de manera rápida y eficaz.

La comparativa se realiza en función de tres parámetros: la eficacia general del tratamiento a emplear, el coste general que supone tanto en construcción como en explotación y la dificultad del mantenimiento y explotación. Dichos factores determinarán la utilidad de cada tratamiento en plantas transportables.

			EFICACIA	COSTE	DIFICULTAD	UTILIDAD EN
DESINFECCIÓN	FÍSICA	HERVIR AGUA	MEDIA	MEDIO	BAJA	NO
		LÁMPARAS UV	BUENA	ALTO	ALTA	NO
		FILTRACIÓN	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI
	Química	CLORACIÓN	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI
			EFICACIA	COSTE	DIFICULTAD	UTILIDAD
SEDIMENTACIÓN	NATURAL		MEDIA	BAJO	BAJA	NO
	ASISTIDA		BUENA	MEDIO	MEDIA	SI

		EFICACIA	COSTE	DIFICULTAD	UTILIDAD	
FILTRACIÓN EN SUPERFICIE	CARTUCHO	MEDIA	MEDIO	MEDIA	SI	
	MEMBRANA	MICRO	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI
		ULTRA	BUENA	ALTO	MEDIA	SI
		NANO	BUENA	ALTO	ALTA	NO
		O.I	BUENA	ALTA	ALTA	NO
		EFICACIA	COSTE	DIFICULTAD	UTILIDAD	
FILTRACIÓN CON LECHO	LENTO	BUENA	MEDIO	ALTA	NO	
	RÁPIDO	GRAVEDAD	BUENA	BAJO	BAJA	SI
		PRESIÓN	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI
		L. MIXTO	BUENA	MEDIO	MEDIA	SI

5. Alternativa seleccionada

5.1. Diagrama proceso

La planta propuesta realiza los siguientes procesos: precloración, floculación, decantación lamelar, filtración rápida por sílex, filtración por carbono activo y la cloración final.

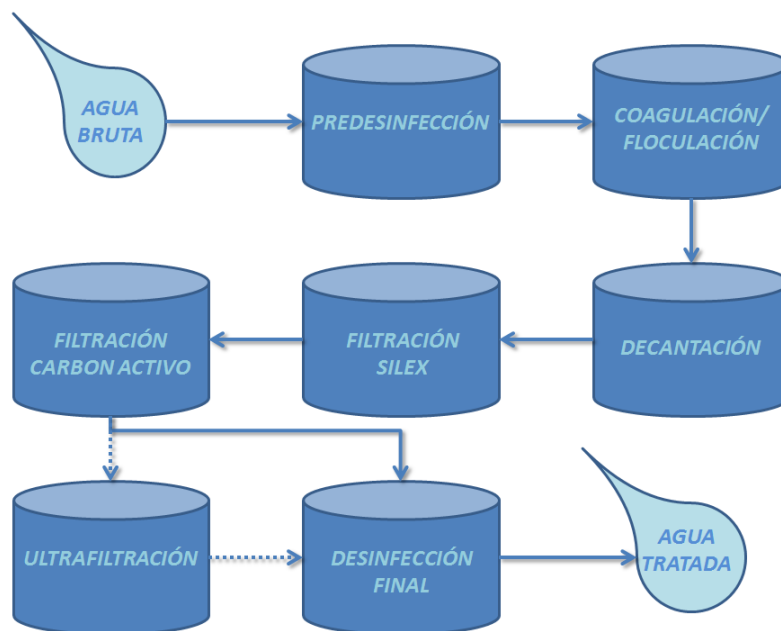


Ilustración. Proceso de tratamiento

5.2. Descripción del método

5.2.1. Pretratamiento físico

Para evitar la entrada de sólidos de un tamaño considerable (hojas, piedras, etc.) a la planta, se colocará una alcachofa que funcione a modo de desbaste en el sistema de captación de aguas. Se trata de una técnica simple pero muy eficaz y barata para proteger los posteriores equipos.

5.2.2. Precloración

Con el fin de evitar el crecimiento de algas y otros microorganismos dentro de la planta se utilizará, un pretratamiento de desinfección de choque (alta concentración de oxidante).

Para la desinfección de agua potable en emergencias se van a utilizar compuestos clorados. Su uso es considerado como un procedimiento estándar por varias razones: su gran accesibilidad, facilidad de transporte, precio moderado y fácil dosificación. Se empleará Hipoclorito de calcio.

5.2.3. Coagulación-Floculación

Esta etapa tiene como principal objetivo permitir clarificar el agua bruta por medio de una sedimentación posterior. Consiste en aumentar el tamaño de la materia coloidal (arcilla, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas, etc.) por medio de la adicción de un coagulante y floculante de manera que se formaran flóculos tales que su peso superará al del agua y sedimentarán.

5.2.4. Sedimentación

El objetivo de esta etapa es separar la materia suspendida (resultante de la floculación) del agua por efectos gravitatorios. Con ello, se consigue un agua clarificada que puede ser llevada a la siguiente etapa de tratamiento.

En esta etapa se generarán fangos que requieren separarlos para no colmatar los recipientes. Estos no se tratarán ante la falta de medios, únicamente se dejarán secar al sol para su posible aplicación posterior como abono.

5.2.5. Filtración

El objetivo es mejorar la turbidez y las características físico-químicas del agua para poder realizar una desinfección final. Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso quedando retenidas las partículas en la superficie de dicho medio. Se conseguirá eliminar partículas sólidas, algas, virus, que no sedimentaron en la etapa anterior debido a su pequeño tamaño.

Se empleará una filtración con Sílex-Antracita y posteriormente una filtración con Carbón Activo.

5.2.5.1. Filtración con Sílex-Antracita

Consiste en filtros multicapa de arena sílex donde las partículas de hasta 15 micras quedan retenidas por procesos mecánicos.

Una vez que el filtro se haya cargado de impurezas, alcanzando una pérdida de carga prefijada, puede ser regenerado por lavado a contracorriente con agua tratada.

5.2.5.2. Filtración con Carbón Activo

El proceso consiste en una adsorción con filtros de carbón vegetal activado por el cual las moléculas de las impurezas se adhieren a la superficie del lecho por medio de una atracción electroquímica. Este sistema es capaz de eliminar compuestos químicos volátiles como los trihalometanos, considerados peligrosos para la salud. Además, esta enorme cantidad de área superficial porosa permite una mayor adsorción de las moléculas orgánicas que causan olor o sabor en el agua.

Cuando la superficie disponible de carbón activo se llena de impurezas se dice que el carbón está gastado. La opción de regeneración es uno de los beneficios principales de la filtración por carbón activo. Ésta se realiza por medio de un retrolavado con agua tratada. A pesar de la regeneración, el carbón activo pierde su fuerza de adsorción después de un tiempo y debe ser cambiado. El momento en el que debe ser sustituido depende del uso que se le haya dado y de la calidad del agua cruda.

5.2.6. Ultrafiltración

La ultrafiltración consiste en una separación física a través de una filtración de membrana con tamaños de poro que oscilan entre las 0,1 y 0,01 micras. Con ella se consigue un agua de muy buena calidad ya que se retiene la totalidad de virus, bacterias y demás microorganismos, así como gran cantidad de partículas inertes. Este tipo de filtración requiere una gran presión de trabajo, suponiendo por lo tanto un gran consumo de energía.

El ensuciamiento es el principal inconveniente de los procesos de membrana. Consiste en la acumulación sobre la membrana de diferentes elementos presentes en el agua.

En este diseño se ha decidido instalar un equipo de ultrafiltración para, en caso de contar con agua bruta de muy mala calidad donde el filtro de carbón activo no ofrezca las garantías de salubridad, se pueda añadir una etapa más de afino para conseguir las características deseadas.

5.2.7. Postcloración

Consiste en la adición de desinfectante al agua al final del tratamiento para prevenir la propagación de enfermedades y proteger los abastecimientos de agua potable. Se empleará al igual que en la precloración, Hipoclorito de calcio, debido a que posee un carácter residual en el agua y a su alto grado de estabilidad en un amplio rango de temperaturas, lo que lo hace muy atractivo.

En una instalación de emergencia de abastecimiento de agua potable donde se distribuya agua desinfectada con cloro es obligatorio el monitoreo regular de la concentración del desinfectante (CLR). El parámetro de la OMS, así como por las normas de Esfera, de 0,5 mg/litro es vinculante para el punto de distribución. Si el pH del agua está por encima de 7,8, el CLR deberá estar situado entre 0,6 - 0,8 mg/litro, y el tiempo de retención (tiempo que tiene el cloro para reaccionar en el agua a desinfectar) debe ser prolongado de 30 minutos a 60 minutos antes de hacer la prueba.

5.3. Contenedores

En este proyecto se va proceder a la creación de un contenedor denominado “TIR 40 Pies Double Door-Open Side” ya que son los que mejor cumplen con nuestros requerimientos técnicos: alta resistencia, no necesidad de acondicionamiento climático, acceso desde tres caras y versatilidad para su transporte, ya que este tipo de contenedor puede ser transportado por barco, camión y tren cumpliendo con el tratado TIR. El contenedor tendrá seis puertas, dos laterales y dos longitudinales en la misma cara.



Ilustración. Contenedor TIR 40 Pies, Contenedor “Double Door”
y Contenedor “Open Side” (de izquierda a derecha)

Este contenedor presenta las siguientes características:

CONTENEDOR			
Altura Exterior	2,896 m	Altura Interior	2,93 m
Ancho Exterior	2,438 m	Ancho Interior	2,352 m
Largo Exterior	12,192 m	Largo Interior	12,025 m
Altura Puerta Lateral	2,280 m	Ancho Puerta Lateral	2,343 m
Altura Puerta Longitudinal	2,280 m	Ancho Puerta Longitudinal	5,686 m
Capacidad	67,68 m ³	Tara	3.750 kg
Carga máxima	28.750 kg	Peso bruto	32.500 kg
Tipo de carga	General	Carga de materiales peligrosos	Si
Mercado	Europa, América del Norte y Central		

6. Diseño

6.1. Dotación

La planta de estudio está diseñada para abastecer a 5.000 personas con una dotación de 100 litros por persona y día. Se ha determinado que aproximadamente un 8% del agua se perderá por los distintos tratamientos, así como por las conducciones o por los rechazos de los equipos

En este caso la cantidad de personas que podrían ser finalmente abastecidas contando con los 15 litros por persona y día que determina el Proyecto Esfera serían más de 33.000 al día. Se ha calculado que la cantidad de agua que se debe extraer al día es de 540 m³/día para garantizar la dotación antes mencionada. La planta se ha previsto que funcione 16 horas al día en dos turnos de mañana y tarde, por lo que el caudal de 33,8 m³/horas viene dado respecto a ese tiempo.

6.2. Equipos principales

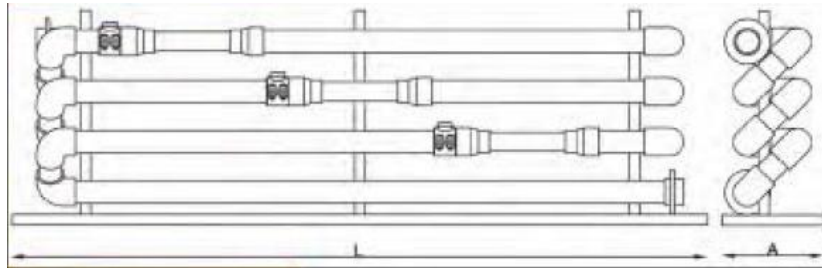
6.2.1. Decantador lamelar compacto

Estos equipos son muy recomendables para trabajar en superficies pequeñas ya que gracias a las lamelas que poseen se aumenta la superficie decantable por metro cuadrado de equipo.

SEDIMENTADOR	
Caudal a tratar	33.8 m ³ /h
Volumen lamelas	1.62 m ³
Tipo lamelas	40 mm
Área específica	16 m ² /m ³
Superficie lamelar total	25.92 m ²
Velocidad específica	1.30 m/h
Superficie necesaria	25.92 m ²
Medidas	1.758 m x 2.950 m x 2.2 m

6.2.2. Coagulador - Floculador

Previo al sedimentador, se ha decidido colocar un sistema coagulador-floculador del tipo laberinto. Estos sistemas permiten garantizar la eficiencia exigida en la etapa ocupando muy poco espacio.



COAGULADOR - FLOCULADOR	
Caudal mínimo	25 m ³ /h
Caudal máximo	37 m ³ /h
Diámetro	11 cm
Altura	1 m
Ancho	50 cm
Largo	3,5 m

6.2.3. Filtración de sílex -antracita

Se han colocado dos filtros para asegurar el funcionamiento continuo de la planta en caso de avería de uno de ellos. Estos filtros corresponden a dos líneas distintas, cada una de las cuales tratará la mitad del caudal en paralelo. En la siguiente tabla se especifican las características:

FILTRO SILEX - ANTRACITA	
Caudal de diseño	33,8 m ³ /h
Unidades de operación	2 unidades
Caudal unitario	16.9 m ³ /h
Diámetro	1 m
Alto	2,147 m
Superficie unitaria	0,8
Velocidad de filtración	21.5 m ³ /m ² /h
Peso unitario	1948,8 kg
Peso total	3897,6 kg
Alimentación eléctrica	220V - 12V AC
Presión de trabajo	3 bar
Material	PRFV exterior y PE alimentario interior

Características del relleno	
Silex	536 kg
Antracita	856 kg

Respecto a la velocidad de filtración decir que los límites entre los que debe encontrarse son 10 y 25 m³/h/m². En este caso se ha determinado según especificaciones del filtro y del caudal a tratar una velocidad de 21,5 m³/m²/h.

6.2.4. Filtración de carbón activo

Al igual que para los filtros de sílex se han colocado dos líneas de tratamiento.

A continuación se presenta una tabla con las características de este sistema.

FILTRACIÓN CARBÓN ACTIVO	
Caudal de diseño	33,8 m ³ /h
Unidades de operación	2 unidades
Caudal unitario	16,9 m ³ /h
Diámetro	1 m
Alto filtro	2,14 m
Superficie unitaria	0,79 m ²
Velocidad de filtración	21,5 m ³ /m ² /h
Peso	594 kg
Peso total	1.188 kg
Alimentación eléctrica	220V - 12V
Presión de trabajo	5 bar
Material	Poliamida
Características del relleno	
Carbón activo	330 kg

En este caso la velocidad de filtración es la misma que para el filtro de sílex al ser los dos filtros del mismo diámetro. Este hecho es posible gracias a la utilización del mismo fabricante para ambos filtros. Además esta configuración de una mayor simetría y orden a la planta

6.2.5. Ultrafiltración compacta

Este sistema estará colocado en una sola línea ya que colocar dos sería muy costoso y existen limitaciones de espacio.

Las características del equipo empleado son las siguientes:

ULTRAFILTRACIÓN		
Caudal diseño		20,3 m ³ /h
Caudal alimentación máximo		33 m ³ /h
Caudal rechazo total		1,9 m ³ /h
Ancho		1,7
Largo		1,90
Alto		2,3
Número de módulos de ultrafiltración		6 unidades
Caudal unitario de cada módulo		5,5
Material del bastidor		Acero inoxidable
Módulos	Material de las fibras	Fluoruro de Polivinilideno Hidrofílico de doble pared
	Material de los	PVC

Cuando el tratamiento del agua requiera de ultrafiltración tan solo se va a pasar por dicho sistema el 60 % del caudal total, es decir, 20,3 m³/h. Es resto del caudal tendrá como último tratamiento el filtro de carbón activo y se mezclará con el agua de ultrafiltración en el tanque de postcloración, con el objetivo de remineralizar el agua producto.

6.3. Equipos Auxiliares

Además de los principales equipos involucrados directamente en el tratamiento, será necesaria la existencia de otro grupo de equipos, que servirán de apoyo y que sin ellos el proceso no podría funcionar. Es el caso de los equipos de bombeo, los dosificadores de reactivo, el generador, etc.

A continuación se especificarán los principales equipos auxiliares:

6.3.1. Equipos de bombeo

Dentro de este grupo diferenciaremos entre los equipos que transforma energía, aplicándola para mover el agua, y aquellos encargados de suministrar la energía potencial necesaria para superar la diferencia de presiones de equipos, como los filtros.

6.3.1.1. Motobomba

Este equipo tendrá la función de bombear el agua superficial hasta la planta de tratamiento. Por lo tanto deberá disponer de la potencia necesaria para elevar un caudal superior a 34.000 l/h. La bomba recibe la energía a través de un motor acoplado.

MOTOBOMBA	
Modelo	Honda WT 20 XK3
Motor	GX 160
Caudal Máximo , l/h	42,6
Elevación máximo , m	30
Aspiración, m	8
Diámetro de entrada, mm.	50
Diámetro de salida, mm.	50
Peso en seco , kg	47

6.3.1.2. Equipo de bombeo de presión

Tanto los filtros de sílex como los de carbón activo y la ultrafiltración trabajarán a presión, por tanto necesitarán un equipo de bombeo que permita trabajar con dichas condiciones.

Este equipo ofrece el total de la energía necesaria para superar la filtración, la microfiltración y las pérdidas de carga asociadas hasta llegar a la cloración final.

Se adoptará usar dos bombas que trabajen con un caudal de 17 m³/h y una altura manométrica máxima de 150 m.c.a. Para ello se dispondrá de un motor de 9 kW.

6.3.2. Equipo electrógeno

Al ser una planta autónoma hay que disponer de un equipo que genere la electricidad necesaria en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico. De ello se encargará el equipo electrógeno que constará de un motor, el cual aplicará energía mecánica a un alternador para que gire y genere electricidad. Se decide seleccionar un modelo cuyo motor se alimente con un combustible fósil como el diesel debido a que es más económico que la gasolina.

Según los cálculos se necesitará un grupo electrógeno que 80 KVA.

6.3.3. Conducciones

Conducciones de bombeo

Para este tipo de tratamiento de agua es necesario operar con unas conducciones cómodas, ligeras y maniobrables. Del mismo modo es conveniente emplear equipos utilizados internacionalmente, para lo cual se seleccionarán unas tuberías con diámetros estándares de 50,8 mm, utilizables para la motobomba y para la estación depuradora.

a) Conducción rígida.

Para la toma de agua desde la fuente de agua bruta hasta la motobomba se emplea una tubería rígida de PVC. Se caracteriza por:

- Ser una red indeformable.
- Gran flexibilidad.
- Pared interior lisa.
- Resistencia a la abrasión de pequeñas partículas sólidas.
- Empleada en succión de líquidos.

b) Conducción semirrígida.

Para la distribución del agua tomada por la motobomba hasta la planta de tratamiento se empleará una tubería semirrígida de PVC. Se caracteriza por:

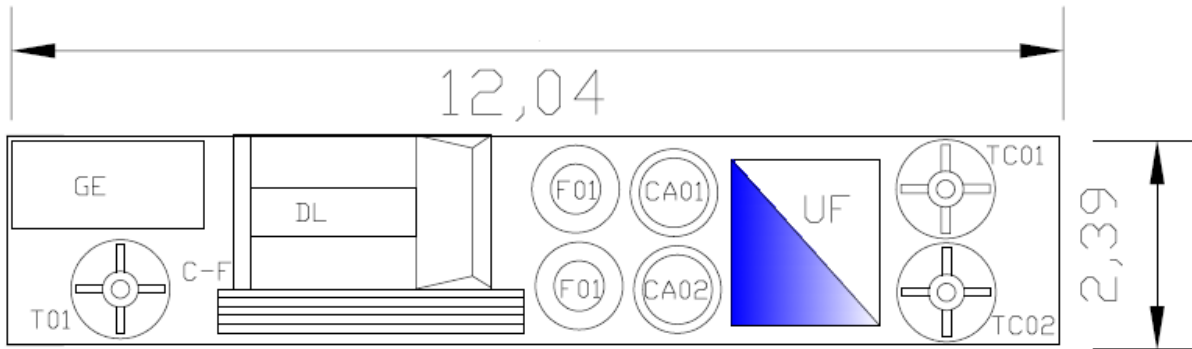
- Poseer refuerzo interno con hilos de poliéster.
- Bajo peso.
- Buen almacenamiento al abarcar menos volumen que otra clase de tuberías.

6.4. Disposición de equipos

La disposición de los equipos es lo más simétrico posible para garantizar la máxima eficiencia en el uso del espacio. En la siguiente figura se representa la distribución espacial de los principales equipos junto al grupo electrógeno. Es de destacar la existencia de dos líneas de bombeo desde la decantación hasta la ultrafiltración.

Estación Compacta Tratamiento de Agua Potable MAGUA

Junio 2013



EQUIPOS	T01	GE	C-F	DL	F0x	CA0x	UF	TC0x
	Tanque precloración	Grupo electrógeno	Coagulación-floculación	Decantador lamelar	Filtro sílex	Filtro Carbón Activo	Ultrafiltración	Tanque postcloración

6.5. Dosificación y almacenamiento de reactivos

Reactivos	Dosis (PPM)	Uso	Consumo	Precio (€)	Coste
Sulfato de	30	Coagulante	747	0,30	224,3
Almidón de	8	Floculante	130	0,11	13,9
Hidróxido de calcio	10	Regulador de pH	83	0,18	14,9
Hipoclorito cálcico	0,6	Precloración	25,5	0,24	6,1
	0,5	Postcloración			

7. Estudio económico

7.1. Costes construcción

COSTE CONSTRUCCIÓN	
Partida	Coste
Equipos Principales	63.300
Equipos Auxiliares	21.700
Elementos Auxiliares (mangueras, tuberías, etc)	665
Contenedor	4.500
Total	90.165

7.2. Explotación y mantenimiento

COSTES FIJOS	
Partida	Coste Mensual
Personal	5.050
Establecimiento	2.930
Mantenimiento y conservación	755
Varios	2.000
Total	10.735

COSTES VARIABLES	
Partida	Coste Mensual (€ / mes)
Combustible	7.265
Reactivos	260
Transporte Marítimo	11.000
Total	18.525

COSTES EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO	
Partida	Coste Mensual (€ / mes)
Fijos	10.735
Variables	18.525
Total	29.260

7.3. Precio

Teniendo en cuenta que tenemos un caudal de 1.014 m³/mes y un coste mensual de explotación de la planta, se puede calcular el precio por m³ de agua tratada para tener un dato de referencia:

$$\frac{29.260 \frac{\text{€}}{\text{mes}}}{16.224 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}} = 1,8 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

8. Conclusiones

- El precio de la infraestructura es competitivo dentro del mercado de las potabilizadoras compactas
- $1,8 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$ no es un precio excesivamente elevado para situaciones de emergencia.
- La planta cumple con las limitaciones técnicas exigidas.
- El diseño permite la adaptabilidad de la planta a aguas de diferentes características