

Capítulo cuarto

Gestión integral del agua en campamentos militares

Jaime Lancho Cenamor

Resumen

La gestión integral del agua (GIA) en los campamentos militares es un factor con gran influencia en la elección de su emplazamiento y contribuye al éxito en la elección de su diseño, ejecución y posterior ocupación por la Fuerza.

El abastecimiento comprende la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua destinada al consumo, mientras que el saneamiento abarca las acciones necesarias para la evacuación de las aguas residuales, bien sea la conducción y tratamiento de las aguas blancas, grises y negras, o su almacenamiento temporal en fosas sépticas y posterior retirada por parte de empresas especializadas.

Palabras clave

Gestión integral del agua, GIA, Campamento militar, Saneamiento.

Integrated water management in military camps

Abstract

Integrated water management (IWM) in military camps is a factor that greatly influences the choice of location and contributes to the success of their design, implementation, and subsequent occupation by the Force.

Supply includes the collection, conveyance, treatment, storage, and distribution of water intended for consumption, while sanitation encompasses the actions necessary for the disposal of wastewater, whether the conveyance and treatment of white, gray, and black water or its temporary storage in septic tanks and subsequent removal by specialized companies.

Key words

Integrated water management, IWM, Military camp, Sanitation.

Introducción

La gestión integral del agua (GIA) en los campamentos militares es un factor con gran influencia en la elección de su emplazamiento y contribuye al éxito en la elección de su diseño, ejecución y posterior ocupación por la Fuerza.

En todos los conflictos a lo largo de la historia, el agua ha sido uno de los aspectos cruciales en cuanto a la ubicación y construcción de campamentos, fortificaciones y castillos, de los cuales se tienen innumerables ejemplos, como el asedio de Masada en Judea por parte de Roma, los aljibes construidos en cientos de castillos en España, las indicaciones de Sancho de Londoño en su «Discurso sobre la forma de reducir la Disciplina Militar a su mejor y antiguo estado» y las referencias a la importancia y empleo del agua que aparecen en el «Tratado de Castrametación o Arte de Campar» del Teniente Coronel Ferraz en el año 1800.



Figura 1. Aljibe árabe de Cáceres. Fuente: <http://museodecaceres.juntaex.es/web/view/portal/index/standardPage.php?id=62>

Por esta razón, es importante tener en cuenta este factor a la hora de la realización del reconocimiento de la zona previo al despliegue. El oficial de ingenieros que forme parte de dicho reconocimiento tiene que estar capacitado para asesorar convenientemente al Mando en cuanto a la conveniencia de las ubicaciones propuestas desde la perspectiva del agua. «Es importante recordar la máxima “sin agua no hay vida”».

Una vez tomada la decisión sobre la ubicación del campamento, el oficial de ingenieros que tenga encomendada la misión del diseño del sistema completo de la GIA debe acometerlo desde una visión global. El punto de partida más conveniente es la realización del inventario de recursos hídricos de la zona, que cuenta

con los superficiales, subterráneos y atmosféricos, aunque estos últimos solo se podrán emplear en condiciones especiales, en la proximidad de la costa y con alta humedad relativa.

Este inventario debe contemplar tanto la cantidad como la calidad; y es fundamental para ambos aspectos recabar toda la información posible referente a las actividades humanas en la zona. Es imprescindible determinar los recursos hídricos que emplea la población local y cuantificar la cantidad diaria de agua necesaria, así como las actividades desarrolladas que puedan ser fuente de contaminación del agua (agrícolas, ganaderas, industriales o humanas), siguiendo por las posibilidades de captación y acabando por la evacuación de las aguas residuales en cuanto a cantidad y calidad del efluente.

1 Concepto de la GIA

La GIA comprende las siguientes fases:

- Captación
- Conducción
- Tratamiento
- Almacenamiento
- Distribución
- Saneamiento

Estas fases se pueden agrupar en dos grandes procesos: el abastecimiento y el saneamiento.

El abastecimiento comprende la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua destinada al consumo, mientras que el saneamiento abarca las acciones necesarias para la evacuación de las aguas residuales; bien sea la conducción y tratamiento de las aguas blancas, grises y negras o su almacenamiento temporal en fosas sépticas y posterior retirada por parte de empresas especializadas que disponen de cubas dotadas de bombas de succión, así como de los fangos resultantes del tratamiento de las aguas residuales.

Para realizar un diseño acertado y optimizar la GIA, se deberá tener en cuenta una serie de factores, comenzando por la ubicación correcta del campamento que se trata en el punto 3. Una vez decidido un emplazamiento que disponga de agua suficiente para

nuestras necesidades, hay que enfrentarse al diseño de todo el sistema de aguas y debe hacerse desde un punto de vista amplio y con visión de conjunto, y descender posteriormente al detalle de cada uno de los elementos que lo componen.

Esto supone evitar el sobredimensionamiento de algunos elementos que luego podrían provocar embudos en unos casos y cuellos de botella en otros, que no podrían dar abasto con el caudal recibido, lo que haría vulnerable e ineficiente al conjunto.

Si se capta y se distribuye más agua de la que se puede evacuar y tratar de forma adecuada en la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales (EDAR), es evidente que se tendrán que tomar medidas correctivas que normalmente serán difíciles de poner en práctica una vez ocupado y operativo el campamento, además de ser caras e incómodas para el personal que lo ocupa.

Como primera aproximación, se debe contar con la dotación de agua que el mando decida para el personal que va a ocupar el campamento. Esta dotación, *a priori*, estará alrededor de los ciento cincuenta litros por persona y día, según el ATP-104 Water Production, Storage and Distribution, pero puede variar enormemente en función de multitud de factores como la climatología, la moral de las tropas y una larga lista de posibilidades.

Propuesta del ATP 104 para tiempo frío:

Types of Use	Phase		Qualitative Water Characterization
	Arrival in Theater	Full Ops in Theater	
Drinking and summary ablutions	15	15	Potable
Kitchen	10	10	Potable
Showers	20	40	Potable
Laundry	10	10	Potable
WC	10	10	Technical
Cleaning Premises	10	10	Technical
Cleaning Equipment	-	50	Technical
TOTAL	75	145	

Figura 2. Requerimientos de agua/persona par tiempo frío

Una vez definido este dato, se pueden dimensionar las bombas hidroneumáticas para poder impulsar la cantidad de agua diaria necesaria, así como el sistema de conducción preciso para llevarla a los depósitos y de estos a los puntos de distribución y consumo.

Estos depósitos se dimensionan también a partir de la cantidad de agua necesaria para un día de dotación «C», que puede ser

ampliado en función del agua de reserva que se decida almacenar, normalmente entre C y $C/3$, y del agua contra incendios si se obtiene del mismo punto de aguada. En el caso de los campamentos más habituales –menos de 5000 PAX–, se calculan 3500 litros.

Con estos datos de consumo, junto con la calidad del agua a la entrada de los depósitos, se dimensiona la planta de potabilización necesaria para poder tratar a diario la cantidad de agua determinada. El caso más habitual es emplear las potabilizadoras en dotación del ET, actualmente SETA, y conocer sus posibilidades en función del tipo de agua bruta a tratar, pero no se debe descartar la posibilidad de emplear potabilizadoras civiles de adquisición en zona de operaciones (ZO), si fuera necesario. Es muy importante conocer los potenciales contaminantes que se pueden encontrar en el agua para diseñar adecuadamente las fases de potabilización necesarias, lo que evita que otras reduzcan el rendimiento o implique añadir reactivos innecesarios al agua que luego se consumirán.

El siguiente punto sería el diseño de la red de distribución, capaz de llevar el agua a los puntos de consumo necesarios del campamento e intenta hacerlo de la forma más eficiente posible, de modo que agrupa los grandes consumidores, optimiza la ubicación de los contenedores de ablución en función de las necesidades y de la comodidad del personal, y garantiza que, en caso de avería o rotura, se pueda aislar la misma y enviar el suministro de agua por otro ramal de la red empleando redes malladas.

Llegados a este punto, hay que decidir el empleo del agua pluvial y qué hacer con las aguas grises. Si el agua de lluvia se va a recoger, es necesario diseñar una red específica y, en función del destino que se le vaya a dar, almacenarla y tratarla del modo adecuado.

La solución óptima para el aprovechamiento de las aguas pluviales pasa por su recogida en *balsas de recarga* —balsas en terreno permeable que recogen el agua pluvial y facilitan su infiltración en el terreno)—. Las ventajas de esta solución son: capacidad ilimitada de almacenamiento en el acuífero, filtración y tratamiento del agua por el propio terreno que elimina los riesgos sanitarios de las aguas estancadas. Esta solución solo es factible si el terreno presenta condiciones adecuadas: idealmente, depósitos de naturaleza aluvial con un nivel freático no próximo en exceso a la superficie (> 3 m).

En función de su empleo, se diseña la red de aguas pluviales de aprovechamiento que influyen en el sistema de drenaje del campamento. El agua recogida para consumo se debe almacenar y tratar como el agua de captación del acuífero de abastecimiento, mientras que la recogida para empleo como agua técnica debe almacenarse y tratarse aparte siempre con la debida señalización.

Si se recogen las aguas pluviales, pero no se emplean para potabilizarlas y consumirlas, sino para agua técnica, se debe tratar de modo específico y almacenar en depósitos claramente diferenciados de los de agua potable y debidamente señalizados. Esta red debe estar separada por completo de la de potables y siempre discurrir por debajo de esta en los tramos comunes.

Se entiende por agua técnica la que recibe un tratamiento de filtración mecánico y una cloración de choque, pero que no la hace potable; se puede emplear para diversos usos, pero no para consumo humano, confección de alimentos, lavandería ni aseo personal.

En el peor de los casos, si no se recogen las aguas pluviales, se debe tener previsto su drenaje y, si va a ir a parar a una red unitaria de evacuación junto con las negras y grises, hay que tenerlas en cuenta para dimensionar la EDAR.

Las aguas grises se pueden unir a las aguas negras en redes unitarias, en cuyo caso hay que tener en cuenta ambas para el dimensionamiento de la EDAR o bien se pueden unir a las aguas pluviales cuando estas se vayan a utilizar como agua técnica. Con el actual diseño de los contenedores de ablución con los que cuenta el ET, las aguas grises y negras de estos contenedores discurren por redes unitarias y reciben el mismo tratamiento, pero no así las aguas grises de cocinas y lavanderías, que pueden ser tratadas como agua técnica junto con las pluviales.

En función de la escasez de agua en la zona y del presupuesto, entre otros factores, se debe optar por un sistema que optimice el empleo del agua y no encarezca la construcción de un modo prohibitivo. Ante la duda, cuanto más agua pluvial se aproveche y más agua gris se reutilice, más eficiente y ecológica será la instalación, y se obtendrá menos impacto negativo en el medio ambiente y, por ende, en la población local, lo que minimizará, así, la huella hídrica.

Las aguas negras deben ser todas tratadas en la EDAR, que se dimensionará contando con las aguas grises y blancas que proceda. Como primera aproximación, se debe contar con que el 85 % del agua de abastecimiento va a la red de evacuación.

2 Criterios para la elección del emplazamiento del campamento

En el reconocimiento previo para la elección del emplazamiento, se deben tener en cuenta multitud de factores para asesorar de manera adecuada al jefe sobre la mejor ubicación desde el punto de vista de la GIA, que, necesariamente, habrá que coordinar con las necesidades tácticas, de seguridad y de cualquier índole que puedan influir en la conveniencia del establecimiento del campamento en un punto concreto.

Independientemente de la zona de despliegue, se han de realizar una serie de acciones previas al desplazamiento para recabar la mayor cantidad posible de información, a fin de tener una visión de conjunto sobre lo que se espera del asesoramiento en el aspecto de la GIA.

Hay que conocer en lo posible la idea del jefe en cuanto a la misión general de la Fuerza, la capacidad del campamento, la permanencia del despliegue, la ubicación geográfica de este, la situación de seguridad en la zona, etc.

Para ello, se tratará de recabar esta información por todos los medios posibles incluidas fuentes abiertas que serán debidamente contrastadas.

En cualquier caso, se hace imprescindible conocer:

- Zona geográfica del despliegue y su topografía.
- Climatología, con especial atención a las temperaturas, pluviosidad y tormentas.
- Tiempo estimado de permanencia del campamento.
- Número de ocupantes previstos del campamento.
- Hidrología de la zona.
- Calidad del agua de la zona.
- Infraestructura hidráulica existente y su estado.
- Empresas del sector del agua en el Área de Responsabilidad (AOR), tanto locales como las contratadas que puedan operar en la zona.
- Situación de la seguridad y ambiente de la población respecto a la Fuerza.
- Impacto probable en poblaciones cercanas que pudiera tener la explotación de los acuíferos de la zona por nuestra parte.

- Actividad industrial, agrícola o ganadera desarrollada en el entorno de la base y su potencial contaminador.
- Resto de informaciones que pudieran influir en la propuesta de ubicación.

Con estas premisas respecto al agua, se estará en condiciones de optimizar el tiempo del que se disponga para el reconocimiento en la zona, que siempre será escaso.

Se pasa a analizar cada necesidad de información propuesta para concretar los datos a recabar en cada una de ellas.



Figura 3. Base Gran Capitán. Fuente: <https://www.bolsamania.com/noticias/politica/el-jemad-visita-las-tropas-espanolas-desplegadas-en-turquia-afghanistan-e-irak--2753266.html>

2.1 Zona geográfica del despliegue y su topografía

Mediante petición al Centro Geográfico del Ejército (CEGET), se recabará la cartografía de la zona con diferentes escalas para su estudio.

Se debe ampliar con fotografía aérea tanto obtenida por conducto oficial como por la obtenida de fuentes abiertas.

Si existe la posibilidad de obtener información de puntos concretos mediante UAV's, drones, etc., se deben explotar, con el fin de obtener un detallado conocimiento de la zona.

El objetivo es tener una idea clara del aspecto de la zona, tanto de su relieve como de los cursos y masas de agua, núcleos de población cercanos, etc.

Es necesario prestar especial atención a la toponimia, ya que dará información adicional sobre la posible existencia de fuentes, manantiales, etc. Para ello, se hará necesario el apoyo de traductores debidamente acreditados en las ocasiones en las que las leyendas e indicaciones de los mapas estén escritas en idiomas que no domine el técnico que acometa esta tarea.

Si es posible, se localizarán mapas geológicos que serán de gran ayuda para detectar masas de agua subterránea para posibles captaciones, a la vez que facilita información para pronosticar la profundidad de la capa freática, a determinar ya en el reconocimiento y que debería estar al menos a 3,5 metros por debajo de la superficie del terreno.

Es frecuente que en países en vías de desarrollado la población local viva sobre importantes acuíferos profundos que no explotan, por carecer de infraestructura o de fuentes de energía para captar el agua. Por tanto, se conforman con explotar acuíferos superficiales de peor calidad. El estudio y evaluación de los recursos subterráneos es una tarea compleja que requiere de expertos en hidrología subterránea.

Entre los condicionantes a tener en cuenta está la pendiente del terreno. Se debe evitar el llano por la dificultad que plantea a la necesaria red de drenaje de aguas pluviales del campamento. La elección de un emplazamiento con una ligera pendiente media de alrededor del 3 %, y por debajo del 5 %, facilita esta evacuación, además de simplificar el diseño de las redes de distribución y evacuación. Especial atención hay que prestar a los llanos inundables, para evitarlos por todos los medios por los evidentes inconvenientes que presentan.

También es necesario estudiar la facilidad para la evacuación de pluviales y residuales tratadas a cursos de agua, barrancos y puntos apropiados que no ocasionen conflictos con la nación anfitriona, en adelante HNS.

2.2 Climatología, con especial atención las temperaturas, pluviosidad y tormentas

Las temperaturas máximas influirán en la necesidad de suministro de agua al personal desplegado. A mayor temperatura, mayor

necesidad de agua por persona y día. Es importante tratar de no bajar la ratio si no es imprescindible por el impacto de esta acción en la moral de las tropas.

El ATP-104 indica la dotación a tener en cuenta en función del clima, ya sea cálido o frío. No hay que olvidar que la temperatura del agua de boca es un factor muy importante de su calidad y que, por encima de 20 °C, aumenta el riesgo de proliferación de microorganismos no deseados y es menos apetecible para el personal, al cual se le debe ofrecer, siempre que sea posible, agua de boca a una temperatura lo más constante posible entre 5 y 15 °C.

Las temperaturas máximas y mínimas influirán en la protección que se debe a los depósitos de regulación y a la red de distribución. Las temperaturas elevadas provocan la evaporación de las reservas de agua en los depósitos, por lo que se aconsejará también su protección al menos con tinglados o sombrajos.

El riesgo de heladas puede producir roturas en las conducciones, por ello, puede ser factible el tener que enterrar las conducciones a más de 60 cm de profundidad, y también tener que aislar térmicamente los depósitos.

Estas circunstancias podrían, incluso, aconsejar el empleo de depósitos enterrados o semienterrados en vez de los depósitos superficiales de dotación del ET.

En cuanto a la pluviosidad, se hace necesario estudiarla para saber si es constante o estacional, ya que, si se pretende explotar los recursos pluviales para el abastecimiento, es fundamental conocer la distribución de las lluvias.

Con superficies lisas (cubiertas o pavimentos), hay que despreciar todas las precipitaciones por debajo de 3 mm y para superficies de tierra o con cubierta vegetal por debajo de 10 mm. Se debe estudiar también el mapa de isoyetas de la zona, con el fin de calcular el dimensionamiento de los drenajes por los viales del campamento, la necesaria pista de circunvalación perimetral para la seguridad, los bombeos de los viales y helipuerto, así como de las explanadas existentes.

Esta circunstancia puede aconsejar, en caso de emplear contenedores en el campamento, el diseño y ejecución de un sistema de canalones y bajantes con imbornales para la recogida de las aguas pluviales y su almacenamiento en depósitos de agua para posteriores empleos como reservas contraincendios, lavaderos de vehículos, riegos y baldeo de viales y explanadas si es conve-

niente, incluso riego de jardines y zonas verdes en campamentos permanentes y semipermanentes.

En estos cálculos se tendrá en cuenta el Código Técnico de la Edificación (CTE).

El estudio de las tormentas y trombas de agua ocasionales puede aconsejar la búsqueda de cuevas subterráneas próximas o la construcción de un depósito de tormentas para evacuar y almacenar ese exceso de agua de forma conveniente. Se tendrá en cuenta el posible tratamiento del agua y su liberación al sistema hidráulico de la zona, para evitar la proliferación de insectos por las posibles molestias y enfermedades que pudieran afectar al personal que ocupa el campamento, y se emplearán las balsas de recarga anteriormente descritas en el apartado 1.

Todos los depósitos deben estar preservados de la intemperie por protección vertical y horizontal para minimizar el impacto de la radiación solar, el gradiente de temperaturas y la posibilidad de que el agua se contamine con partículas en suspensión. Esta protección puede ser realizada en un inicio con tiendas colectivas tipo modular para ser posteriormente perfeccionada.

2.3 Tiempo estimado de permanencia del campamento

En función del tiempo de ocupación, la infraestructura del campamento se irá perfeccionando y haciéndose más compleja, y se pasará de una entrada inicial en tiendas y empleo de WC químicos con servicios mínimos de agua como alimentación y duchas, considerados como esenciales en campamentos temporales, hasta diseños permanentes y semipermanentes que contemplen unas completas redes de abastecimiento y saneamiento con servicios de lavandería, cooperativa, jardines, etc. El ATP-104 indica la dotación adecuada a la entrada en ZO y, posteriormente, durante el transcurso de las operaciones.

En los casos de campamentos que evolucionan por aumento del tiempo de ocupación y, por consiguiente, van cambiando su diseño, es necesario tener previstos los cambios en la cantidad de agua que se debe tener almacenada en los depósitos de regulación, el paso de WC químicos a contenedores de ablución conectados a fosas sépticas o a redes de saneamiento, así como las capacidades de distribución de agua potable y de depuración en la EDAR al objeto de evitar los «cuellos de botella» por donde la red de la GIA puede verse colapsada.

Se deberá tener en cuenta en estos campamentos con una evolución dinámica la posibilidad de aprovechamiento de las aguas pluviales y grises, con la consiguiente construcción de redes y depósitos propios con un tratamiento específico para su empleo como agua técnica, tanto en la instalación de depósitos contra incendios como de riego, lavado de vehículos, etc. Para lograrlo, es muy importante, desde las primeras fases de la construcción de la base, diferenciar la red de evacuación de aguas negras (incluyendo los vertidos de grasas u otros contaminantes) de las que solo llevan trazas de detergentes (aseo personal).

2.4 Número de personas que ocuparán el campamento

El número de personas que ocupen el campamento es determinante para realizar el diseño de todo el sistema.

Es necesario contemplar en el dimensionamiento no solo la Fuerza prevista, sino los posibles refuerzos que se alojen de forma temporal (Bon electoral de Afganistán) y los transeúntes.

Como datos de inicio de los cálculos se partirá de los mínimos estipulados por el ATP-104, aunque en épocas de restricción puede llegar a un mínimo de veinticinco litros de agua potable por persona y día, más un mínimo variable de agua técnica, una producción de en torno a cincuenta litros de aguas negras por persona y día. y una ratio de un WC y una ducha cada diez personas.

La situación irá variando, por lo que estos datos lo harán también en uno u otro sentido, de modo y manera que puede darse la situación de la Base Cervantes en el Líbano (sin restricciones), o bien extremando las medidas de control de consumo de agua (COP, s en determinadas situaciones).

Las ULOG desplegadas en ZO tendrán, además, la cantidad de agua embotellada en sus almacenes y contenedores isoterms que definan los Procedimientos Logísticos, (PROL, s), en función del número de personas que se alojen en el campamento y de la reserva marcada en días de suministro, (DOS). Habitualmente, se estima en siete DOS de reserva, aunque puede variar en función de la situación.

El número de personas del campamento también define el número de refugios, estos pueden tener dotación de agua embotellada para el número previsto de ocupantes en un tiempo concreto a

determinar en el PROL. Esta cantidad de agua almacenada debe ser periódicamente revisada y renovada cuando se acerque su fecha de consumo preferente.

2.5 Hidrología de la zona

La hidrología de la zona es otro elemento determinante a la hora de elegir una ubicación.

La mejor opción será que el punto de captación de agua para consumo se encuentre en el interior del campamento, debido a la servidumbre logística que implica el transporte del agua y a la vulnerabilidad que supone para la seguridad del personal durante los trayectos, fácilmente identificables por eventuales elementos hostiles, así como la posibilidad de sufrir sabotajes en el propio punto de captación.

Otra buena opción es enganchar a la red de distribución local de agua potable y canalizar las aguas negras al sistema de saneamiento público, pero este no será el caso más habitual.

En cualquier caso, siempre debe garantizarse una capacidad de almacenamiento mínima en el interior de la base definida en el PROL.

2.6 Calidad del agua de la zona

La calidad del agua de consumo debe cumplir las condiciones del STANAG 2136. El servicio sanitario (farmacia) es el encargado de comprobar estos estándares de calidad y el único autorizado para realizar los análisis de potabilidad del agua.

No obstante, en el estudio previo a realizar, se deben evitar en lo posible masas de agua y ríos con evidentes síntomas de contaminación, aguas abajo de industrias contaminantes que evacuen aguas residuales al curso o masa de agua, explotaciones agrícolas y ganaderas en las mismas condiciones citadas y demás posibles casos sospechosos de contaminar el agua.

No obstante, la contaminación *per se* no es un impedimento para el aprovechamiento de los recursos hídricos. Lo fundamental es conocer qué actividades se han desarrollado en el entorno y, a partir de estos datos, solicitar que se incluya en los análisis de agua el muestreo de los parámetros que indiquen la presencia de estos contaminantes.

Una vez identificados los contaminantes presentes, se debe evaluar el riesgo y la rentabilidad de los procesos para eliminar dichos contaminantes del agua y ponderar la solución junto con otras alternativas de abastecimiento.

Uno de los primeros análisis a realizar es el de las cualidades organolépticas del agua y su turbidez, así como de la presencia de venenos y metales pesados, que puede aportarnos datos importantes sobre las posibilidades de consumo del agua a estudiar.

Una guía valiosa para el estudio es el STANAG 2885 sobre suministro de emergencia de agua.

2.7 Infraestructura existente y su estado

Las redes locales de suministro y evacuación deben ser la prioridad para el abastecimiento y evacuación del agua en los campamentos militares junto con la captación en el interior del propio campamento.

Según el STANAG 2885:

«Las necesidades de agua de las Fuerzas armadas son normalmente cubiertas por los sistemas públicos de suministro de agua». En caso de interrupción del abastecimiento normal de agua y del abastecimiento de agua preparado para la situación de defensa que es independiente de los sistemas públicos, las Fuerzas Armadas deben ser capaces, si quieren conservar su capacidad operativa, de satisfacer sus necesidades de agua potable y técnica gracias a un abastecimiento de emergencia asegurado por sus propios medios.

Por esta razón, se evaluará la infraestructura local de abastecimiento y evacuación de agua para los campamentos militares, sin perder de vista la calidad del agua suministrada y evacuada.

Siempre que sea posible, se usarán estas redes por la economía de medios y tiempo de puesta en servicio, sin embargo se mantendrán las siguientes precauciones:

- Empleo de depósitos de regulación con capacidad de reserva de emergencia a evaluar según la situación, y es en una COP la capacidad aconsejable de siete (7) días.
- Controles periódicos de la calidad del agua de abastecimiento siendo más frecuentes y aleatorios cuanto más elevada sea la amenaza.

- Chequeo periódico de la calidad del agua residual a la salida del campamento en su camino a la EDAR y del efluente de esta al medio ambiente.

Normalmente, un contaminante no es detectado si no se somete la muestra de agua al análisis específico para ese contaminante. Por esto, es necesario prestar atención a parámetros del agua que indican la presencia de anomalías:

- Balance iónico: si existe una diferencia entre el sumatorio de aniones y el de cationes (equivalentes), el agua presenta algún contaminante que no ha sido muestreado.
- pH: valores inferiores a 6,5 o superiores a 7,5 deben despertar sospechas.
- Conductividad eléctrica o residuo seco: incrementos o variación repentina de su valor.

La conducción del agua de suministro a los campamentos desde la red local se realizará, normalmente, mediante tubo de polietileno de alta densidad de uso alimentario normalizado, del calibre adecuado al caudal necesario en función de la demanda de agua calculada y, preferentemente, a lámina libre. Si el trazado del terreno no lo permite, se recurrirá al bombeo.

2.8 Empresas del sector del agua en la AOR

La existencia de empresas o la posibilidad de contratarlas tanto nacionales como de la organización de la que se dependa (OTAN, ONU, etc.) y de la HNS es otro de los puntos a estudiar.

Es relativamente habitual externalizar determinados servicios en función de la situación. Entre estos servicios se encuentran el abastecimiento de plantas potabilizadoras y su mantenimiento, de modo que pueden ser explotadas por personal militar o de la propia empresa contratada.

También es posible la contratación de plantas depuradoras de aguas residuales en las mismas condiciones de mantenimiento y explotación que las plantas potabilizadoras.

En otros casos se puede contratar los servicios de empresas con equipos de succión y vaciado de fosas sépticas, si este es el sistema empleado de eliminación de aguas residuales. En este caso, se hace necesario verificar, siempre que se pueda, que la empresa trata adecuadamente las aguas residuales conforme a

la legislación existente en la HNS. A falta de esa legislación, se adoptará la propia nacional o la que la organización internacional haya publicado.

Este sistema presenta vulnerabilidades de la seguridad del campamento, por lo que debe emplearse con precaución, y extremar las medidas de control de acceso al mismo.

Las ULOG y las UABA serán las encargadas del control de estos servicios, cada una en su ámbito de competencia, tras su puesta en funcionamiento por parte de la UAD (Unidad de Apoyo al Despliegue) que establezca el campamento.

Es conveniente reseñar que, en la actualidad, las UTE (Unión Temporal de Empresas), que habitualmente se contratan en ZO para realizar el servicio de alimentación, suministran como recurso de Clase 1.C el agua embotellada que se sirve en los comedores y también el agua almacenada, embotellada y paletizada en los locales preparados al efecto en las ULOG desplegadas en ZO y en las dotaciones de los refugios.

2.9 Situación de la seguridad y ambiente de la población respecto a la Fuerza

La situación va a determinar el grado de amenaza y, por consiguiente, va a afectar al diseño de nuestras instalaciones, lo que incluye el sistema GIA. Dependiendo de la amenaza, se puede hacer necesaria la colocación de protección vertical y horizontal en nuestros depósitos a base de sistemas de hesco bastión, t-wall, muros de hormigón armado y cubiertas horizontales, pudiendo ser de diversos materiales prefabricados, HA (hormigón armado), etc.

En cualquier situación de alerta, la planta potabilizadora estará vallada y con medidas de seguridad adicionales con el acceso restringido exclusivamente al personal autorizado, como los operadores de la planta, el personal para la toma de muestras, etc.

También debe ser vigilada la EDAR y estar vallada por ser otro punto sensible del sistema susceptible de sufrir sabotajes, lo que permite el acceso solo a las personas autorizadas.

En cuanto a la seguridad perimetral del campamento, es fundamental planificar los puntos de drenaje de las escorrentías para que no sean puntos débiles en la defensa. Para ello, se emplearán varios tubos de pequeño diámetro preferiblemente a uno solo de

gran tamaño, y con dispositivos sifónicos para dificultar el paso de intrusos a través de ellos.

También se debe garantizar que las aguas negras y grises, en caso de rotura de las conducciones, fluyan por gravedad fuera del recinto del campamento con las precauciones arriba descritas.

2.10 Impacto probable en poblaciones cercanas de la explotación de los acuíferos de la zona por nuestra parte

La explotación por parte de la Fuerza de los acuíferos locales puede afectar a las poblaciones cercanas, por lo que se debe tener en cuenta a la hora de escoger el emplazamiento, tratando que el consumo de agua no desabastezca a las citadas poblaciones y que el efluente de la EDAR no contamine otros acuíferos empleados por la población local.

No hay que olvidar el agua para el ganado o para riego, ya que su uso puede ser estacional y muy crítico, lo que pone en peligro la cosecha o la vida de los animales.

2.11 Resto de informaciones que pudieran influir en la propuesta de la ubicación

Aquí se engloban todas las circunstancias que, de un modo u otro, pudieran afectar a la ubicación, como posibles apoyos de cooperación cívico-militar, (CIMIC), y abastecen zonas con escasez de agua, reparación de pozos de uso compartido de la Fuerza con la población, etc.

3 Abastecimiento de agua a campamentos militares

El abastecimiento de agua consta de las siguientes fases.

- Captación
- Conducción
- Tratamiento
- Almacenamiento
- Distribución

Se va a desarrollar una secuencia de las fases para que sirva de guía al oficial de ingenieros que deba diseñar el sistema, sin profundizar en los cálculos, dando en cambio sencillas herramien-

tas informáticas para realizarlos que han sido desarrolladas por diversos oficiales del arma y que tienen probada eficacia tanto en territorio nacional como en operaciones.

3.1 Captación

La captación de agua para consumo se puede realizar de las siguientes formas:

- Captación de aguas superficiales
- Captación de aguas subterráneas
- Captación de aguas pluviales
- Captación de recursos atmosféricos - condensación humedad ambiental
- Captación de agua de mar y salobre
- Captación de la red de agua local

Cada modalidad de las mencionadas puede emplearse en combinación con el resto según se necesite, de modo que puede dedicarse, según los casos, alguna de ellas con un fin concreto.

El caso más deseable es el de empleo de la red local, mediante una conducción exclusiva al campamento combinado con captación en el interior de este. En este caso, hay que verificar también la calidad y cantidad de las aguas para garantizar el abastecimiento.

La captación de aguas superficiales con corriente como ríos y canales se deberá hacer aguas arriba de poblaciones y de otros posibles focos de contaminación, siempre que sea posible, a menos que la escasez del caudal obligue a situar la toma aguas abajo de la población para evitar reclamaciones, aún a costa de una peor calidad del agua.

Los análisis previos a la instalación del equipo de captación son preceptivos para no empezar a montar la instalación de captación hasta no comprobar que el agua es apta para el tratamiento de consumo y evitar pérdidas de tiempo y montajes infructuosos.

En aguas superficiales sin corriente, se realizan de igual forma los análisis previos y las tomas se colocan a media altura sin apoyar en el fondo donde habrán sedimentado las posibles materias contaminantes. Inicialmente, puede instalarse una manguera de succión con la alcachofa unida a un flotador anclado a la orilla de

forma que se ponga a suficiente distancia de la orilla y a media altura, para, posteriormente, colocar torres de toma y tuberías que optimicen la instalación.

La captación de aguas subterráneas se realiza mediante diversos tipos de pozos que pueden ser horizontales y verticales.

Los pozos horizontales son poco comunes y se dividen en galerías y drenes. En ambos casos, el agua se recoge por gravedad en un pozo colector desde el cual se inicia la impulsión. Es un sistema poco frecuente.

Los pozos verticales mucho más comunes se construyen penetrando verticalmente en el acuífero y colocando el grupo moto-bomba adecuado para su explotación. La excavación siempre es por debajo del nivel freático y se pueden construir con tubos de hormigón armado, ladrillos, tuberías de metal o PVC.

Existen diversos procedimientos para su construcción como las perforadoras a percusión y a rotación.



Figura 4. Perforadora a rotación. Fuente: Hard Rock Drilling Perforaciones » Pozos de Agua (hrd.cl)

Si el pozo hay que construirlo y no se puede aprovechar alguno existente por la zona, se debe estudiar esta para hacer las catas

apoyándose en los mapas geológicos, la toponimia y el conocimiento de los habitantes locales, además de los diversos métodos de búsqueda de agua que pueden ser contratados en caso de necesidad.

En lo posible, hay que evitar construir pozos en acuíferos superficiales que estén siendo explotados por la población local, puesto que se pueden provocar descensos en el nivel freático con consecuencias en captaciones próximas. Cuando existen acuíferos superficiales, es frecuente que aparezcan otros acuíferos profundos con un comportamiento hidráulico independiente del acuífero superficial y, por tanto, sin impacto sobre la población local.

La captación de aguas pluviales debe ponerse en valor, puesto que, hasta ahora, no está siendo muy empleada en los campamentos militares pese a sus posibilidades según la zona en la que se encuentre, fundamentalmente por la complejidad que supone como ya se comentó con anterioridad. Básicamente, se trata de unas zonas de recogida de aguas, unas conducciones y unos depósitos aljibe.

Si se cuenta con todas las superficies útiles del campamento, se han de tener en cuenta los siguientes elementos:

- Superficies de los tejados de las edificaciones además de tinglados y cubiertas.
- Explanadas, helipuertos y viales.
- Sistema de drenaje del campamento en su conjunto.

En todos los casos, se tiene previsto un sistema para desechar las primeras aguas que arrastran materiales contaminantes, para después aprovechar el resto de la precipitación hasta la altura máxima de los aliviaderos a partir de la cual el resto de las aguas se evacuarán del campamento por el sistema de drenajes hacia ríos, pantanos o bien al depósito de tormenta si se ha construido.

La precipitación recogida por las cubiertas se calcula para dimensionar los canalones, bajantes e imbornales por el procedimiento descrito en el Código Técnico de la Edificación en el Documento Básico DB-HS5.

Es interesante consultar también el documento del CTE DB-HS1, en cuyo punto 3.4 se describen las soluciones constructivas de las cubiertas para favorecer el drenaje de estas.

Las explanadas actúan como superficies de recogida o eras. Pueden ser de hormigón, grava, o bien de un suelo al menos tolerable, pero siempre se le dará inclinación o bombeo menor

del 5 % según la topografía del campamento, y se busca la mejor solución de forma que drene en las direcciones adecuadas para conducir el agua mediante cunetas o tuberías hacia los depósitos-aljibe si se va a aprovechar, o bien al sistema de drenaje general si se van a evacuar hacia zonas adecuadas aguas abajo del campamento.

Los helipuertos tendrán un suelo al menos tolerable con un espesor mínimo de 50 cm, y un bombeo de algo menos del 3 % para facilitar el drenaje y se conducirá el agua del mismo modo que en las explanadas.

En los viales se construirán cunetas de forma que recojan las aguas por gravedad, las conduzcan en paralelo al trazado hacia los depósitos-aljibe o bien al sistema de drenaje general.

El sistema de drenaje general del campamento en su conjunto incluirá, además, la pista perimétrica para patrullaje, que será, preferentemente, de grava u hormigón armado.

Este sistema recogerá precipitaciones aguas arriba y permitirá la salida del exceso de precipitaciones que no se puedan aprovechar mediante múltiples salidas entubadas, estrechas y sifónicas en beneficio de la seguridad. Este sistema de drenaje debe dimensionarse de forma que permita la evacuación de la máxima aportación prevista y cuenta con un periodo de retorno de veinticinco años.

La captación de recursos atmosféricos por condensación debe tenerse en cuenta cuando la humedad ambiental presenta valores mantenidos superiores al 80 % durante la mayor parte del año.

La captación de agua de mar y salobre se realiza cuando no hay posibilidad de aprovechar la red local ni las aguas dulces superficiales o subterráneas y no son suficientes las aguas pluviales.

Este sistema necesita de potabilizadoras especiales con función desaladora, normalmente de ósmosis inversa. En la actualidad, las potabilizadoras en dotación «SETA» tienen esta posibilidad, pero hay que tener en cuenta que el caudal diario de agua producida se reduce notablemente incluso a la mitad con respecto al empleo de aguas brutas dulces, por lo que se tendrá en cuenta a la hora de calcular las necesidades de agua y de potabilizadoras para no formar un «cuello de botella» en la cadena de la GIA. Se recomienda consultar el manual de la potabilizadora SETA con sus características y capacidades.



Figura 5. Potabilizadora SETA. Fuente: Jornadas de actualización sobre potabilización de agua de los zapadores de la BRI II - Ejército de Tierra (defensa.gob.es)



Figura 6. Potabilizador móvil. Fuente: Potabilizadoras Móviles archivos - SETAPHT

También se pueden encontrar en el mercado otro tipo de desaladoras por evaporación y posterior adición de sales, pero son antieconómicas por la elevada cantidad de energía que requieren y su bajo rendimiento.

Si el método empleado de captación es el de aguas saladas y salobres, se debe tener en cuenta la evacuación de las salmueras producidas que debe realizarse en lugares adecuados para no alterar las condiciones medioambientales de la zona.

3.2 Conducción

La conducción del agua, desde el punto de captación hasta el punto de tratamiento y almacenamiento, se realiza mediante tubería del diámetro adecuado en función del caudal necesario para el campamento. También es posible que se haga necesario llevar el agua sin tratar en vehículos aljibe, pero es una solución que siempre ha de ser tomada como transitoria hasta poder utilizar la conducción por tuberías.

Es deseable que el trayecto sea lo más corto posible para minimizar gastos y riesgos, así como posibilidades de pérdidas, contaminaciones y averías.

Si es posible llevar el agua por gravedad regulada por grupos de presión, se debe utilizar este sistema por su facilidad. Los grupos de presión evitan sobrepresiones en la red y garantizan el caudal requerido por el usuario; no obstante, necesitan una presión positiva en la toma, por lo que la red de distribución deberá de estar al menos alimentada por gravedad.

La conducción entubada necesita ir enterrada (aproximadamente, 60 cm) o, al menos, protegida de la intemperie para su protección térmica (frío-calor), con aislante para evitar congelación y evaporación. Además, deberá ir señalizada con cinta de polietileno de color azul para su fácil localización e identificación.

En el caso de ir enterrada, necesitará un lecho de arena libre de piedras o materiales (arena de río) con aristas vivas que pudieran erosionar la conducción. También irá protegida por encima por una capa de arena de río (no utilizar tierras procedentes de la excavación) de un espesor mínimo de 60 cm (debidamente compactada) en zonas peatonales, y de losa de hormigón armado en pasos de vehículos, que, de todos modos, se tratarán de evitar por el riesgo de rotura que suponen.

3.3 Tratamiento

El objetivo de este proceso es obtener aguas con las calidades definidas en el STANAG 2136, en función del tipo de agua que se

requiera en cada caso, fundamentalmente potable, de urgencia o técnica.

Según la calidad del agua bruta, el tratamiento de esta será más o menos lento, pero tendrá, en todos los casos, los mismos pasos acorde al tipo de agua que se vaya a producir. No todas las aguas que se traten tienen que ser necesariamente potables, el agua del sistema contraincendios puede ser técnica, no apta para consumo, pero mucho más rápida de producir y, a la vez, más económica de tratar.

El tratamiento para agua potable se llevará a cabo, normalmente, con las potabilizadoras de dotación del ET. En la actualidad, se emplean las potabilizadoras SETA.

Los procesos básicos a los que se puede someter al agua bruta son los siguientes:

- Filtro mecánico en la bellota de aspiración y otro de cesta, anterior al depósito de decantación.
- Adición de floculante para la decantación en depósito lamelar.
- Adición de hipoclorito sódico para una desinfección previa.
- Filtro mecánico de sílex para eliminar sólidos residuales.
- Filtro de carbón para mejorar las cualidades organolépticas del agua.
- Adición de antiincrustante para mejorar el rendimiento de las membranas de ósmosis inversa.
- Microfiltración para afinado del agua.
- Filtrado por ósmosis inversa para el desalado.
- Cloración residual.
- Ajuste de pH y remineralización.
- Paso por cámara ultravioleta para desinfección biológica.

No todos son imprescindibles, además, algunos pueden disminuir de forma considerable el rendimiento y puede ser conveniente eliminarlos si no son necesarios.

El STANAG 2136 es la documentación de consulta adecuada para definir el tratamiento a aplicar.

3.4 Almacenamiento

El almacenamiento de las aguas ya tratadas se efectúa en depósitos protegidos según las circunstancias. Estos depósitos se

dimensionan según las necesidades diarias de agua y el número de horas de llenado, que puede ser durante todo el día o en arcos horarios definidos. Se recomienda confeccionar una sencilla hoja de cálculo para su rápido dimensionamiento. También se calculan con el «calculador de campamentos» desarrollado por la oficina técnica del Batallón de Castramentación (BCAS).

Los depósitos cumplen las siguientes misiones:

- Almacenamiento de agua.
- Regulación de caudal y presión.
- Mantenimiento de la calidad del agua.
- Mantenimiento de un nivel mínimo de emergencia.

La capacidad de los depósitos debe ser tal que, al garantizar el suministro en caso de avería por un tiempo razonable, posibilite una renovación periódica y frecuente del agua para evitar zonas de agua estancada que pueden favorecer el crecimiento de organismos no deseados.

Si es posible, se ubicarán depósitos contraincendios en diversos puntos del campamento según su grado de riesgo, preferentemente a unos doscientos metros entre depósitos, dotados con sus correspondientes grupos de presión contra incendios para la proyección del agua. La instalación de la red contra incendios se ejecutará separada de la red de abastecimiento de agua para consumo humano y sus depósitos serán independientes.

También se instalarán depósitos de agua técnica debidamente señalizados como no potable en lugares de consumo masivo de esta agua como lavaderos de vehículos en la zona logística.

En la GIA, los depósitos pueden tener diferentes funciones dependiendo de su ubicación en el sistema. Unos pueden estar dedicados en exclusiva a agua potable, mientras que otros pueden emplearse en almacenar agua de lluvia con mínimo tratamiento que la clasifique como agua técnica para su empleo como limpieza de vehículos, baldeo y riego, incluso para agua contraincendios. La premisa es no mezclar las aguas de unos con las de otros por sus diferentes tratamientos y usos.

Los depósitos se pueden colocar elevados, enterrados o en superficie.

La colocación de depósitos elevados en los campamentos militares depende del terreno porque no es rentable construir una

estructura para darles altura, a no ser que sea una infraestructura que ya se encontrara en el lugar y se haya inspeccionado tanto desde el punto de vista estructural como sanitario.

El terreno adecuado para que el agua tuviera presión por gravedad en la red de distribución debería de tener una elevación de entre veinte y cuarenta metros sobre el campamento y estar relativamente centrado, lo que no es muy común. Por otra parte, sería un objetivo claro desde el punto de vista de la seguridad, por lo que su uso no está muy extendido en campamentos militares.

Los depósitos enterrados y semienterrados son de obra por regla general, lo que implica su construcción y posterior abandono, además del tiempo necesario hasta su puesta en servicio, por lo que hay que valorar la conveniencia de su empleo. Estos depósitos están, por otra parte, más protegidos tanto de amenazas externas como de las variaciones de temperatura.

Por el contrario, son más fácilmente inundables y, por tanto, es más sencillo que se contaminen. En general, no son de mucha aplicación en instalaciones que no vayan a estar operativas durante un largo periodo de tiempo.

Los depósitos flexibles en superficie son una solución rápida y eficaz para el almacenamiento del agua. Al estar en superficie, necesitan un grupo hidroneumático para enviar el caudal adecuado a la presión correcta a toda la red de distribución. En zonas con elevadas temperaturas, es necesario instalarlos bajo tinglados ligeros para evitar la proliferación de microorganismos perjudiciales para la salud. Estos depósitos presentan las siguientes ventajas:

Gran variedad de capacidades.

- Puesta en servicio rápida y fácil emplazamiento en los puntos que interese.
- Reutilizables.
- Gran resistencia a las variaciones de temperatura, entre -30 °C y +70 °C.
- Una vez vacíos, se pueden recolocar en distinta ubicación si los condicionantes así lo aconsejan (seguridad, nuevas necesidades, etc.), lo que dota al sistema de gran flexibilidad.
- De dotación en nuestro ejército y en los de nuestro entorno.
- Fácil adquisición tanto en TN como en ZO.

Estas son, entre otras razones, las que aconsejan emplear este tipo de depósitos para nuestros campamentos.



Figura 7. Depósito flexible sobre camión. Fuente: <https://www.nauticexpo.es/prod/pronal/product-36084-486339.html>

Existen diversos modelos de depósitos en el mercado con diferentes características y capacidades.

3.5 Distribución

Los sistemas de distribución de agua potable deben ser, ante todo, racionales, económicos y eficientes; por tanto, se deben diseñar con un criterio de aprovechamiento de los materiales de forma que los grandes consumidores con carácter prioritario como cocinas y ablución estén lo más agrupados posible y abastecidos por redes malladas que garanticen el suministro en caso de avería en algún punto de la red.

Los grandes consumidores de carácter no prioritario, como lavandería y cooperativa, deben estar también agrupados y con redes malladas comunicadas con la prioritaria para garantizar el abastecimiento de estas en caso de avería. También es posible el empleo de redes ramificadas. Estas tienen la ventaja de ser más económicas, puesto que los diámetros de las tuberías son más reducidos cuanto más se alejan de las conducciones principales, pero presentan el inconveniente de que una avería deja sin abas-

tecimiento a toda la red a partir del punto averiado por lo que no son recomendables en principio.

El trazado de las redes debe hacerse optimizando los recursos, esto se consigue tendiendo en línea recta las conducciones principales, es decir, las que abastecen a los grandes consumidores y desde estos a los consumidores secundarios.

En redes malladas se aconsejan diámetros nominales mínimos de 75 a 90 mm con una velocidad de cálculo recomendada de 1,4 m/s, de modo que son las velocidades admisibles las comprendidas entre 0,5 y 1,5 m/s, aunque sí es importante que las velocidades no suban más de 2 m/s, ya que la pérdida de carga en la tubería se dispara.

La presión para suministrar en m.c.a. (metros de columna de agua) debe ser de 5 m sobre cubierta, y se viene tomando como norma habitual quince metros de m.c.a para poblaciones de menos de mil habitantes y de veintidós metros para poblaciones de entre mil y seis mil habitantes. La mejor opción para garantizarlo es disponer de grupos de presión en los puntos de consumo.

Los caudales de cálculo deben ser los de la máxima demanda que equivale a 2,4 veces el consumo horario medio.

Para el cálculo de caudales se debe aplicar el CTE, concretamente el DB HS 4. En este mismo documento, se describe la construcción de la red de suministro de interiores, que puede ser útil en caso de tener que construir una, pero el caso más habitual es el de contar con los contenedores de ablución ya preparados para que con una sola acometida se dé servicio a la red de agua fría y ACS por separado con sus presiones diferenciadas.

Un procedimiento sencillo de cálculo de caudales consiste en aplicarles coeficientes de simultaneidad como se describe en el documento ya referenciado «NOP 0301/11 Construcción de una posición de combate avanzado (COP/FOB/OP)» del MING en su anexo G.3.Cálculo de las secciones necesarias.

El hecho de tener agua en cantidad suficiente no implica que no haya que ser cuidadosos en su consumo, pese a tener dotaciones suficientes no debe gastarse más agua que la imprescindible, por lo que hay que concienciar a los usuarios del ahorro del agua. Existen muchas medidas posibles entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- Colocación de aireadores en todos los grifos y limitadores en las alcachofas de las duchas.

- Distribución de carteles de concienciación en los contenedores de ablución, grifos cerrados cuando no se usen, duchas cortas, no usar los inodoros como cubo de basura, etc.
- Reparación rápida de fugas por parte de los servicios de mantenimiento.
- Empleo de redes residuales separativas para poder emplear el agua pluvial como agua bruta para potabilizar o como agua de urgencia.
- Concienciar a la ULOG/UABA de trabajar con las lavadoras industriales a tope de carga en la medida de lo posible.
- Emplear jabones biodegradables, sin fosfatos ni lejía para mejorar la eficacia de los lechos bacterianos en las EDAR.
- Instalar trampas de grasa para optimizar la eficacia de la EDAR.
- Colocar cubos higiénicos en los inodoros y vaciarlos diariamente por parte del servicio de limpieza.
- Evitar o minimizar las zonas verdes alrededor de capillas, cooperativas, etc. Si existen, plantar plantas autóctonas y hacer riegos eficientes y con agua técnica.
- Vigilar con frecuencia los consumos de agua y hacer un histórico para detectar anomalías y corregirlas lo antes posible. Para ello, es conveniente instalar contadores de agua en las acometidas generales a cada edificio o instalación.
- En zonas cálidas, proteger las redes y los depósitos de los excesos de temperatura para evitar la evaporación.
- Minimizar el lavado de los vehículos a lo estrictamente necesario. Los de representación lo imprescindible y los tácticos para el mantenimiento. Si se han enmascarado y se va a volver a hacerlo al día siguiente, no lavarlos.

El material para la confección de las redes de distribución será preferiblemente polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE) de uso alimentario PE100 y suministrado desde territorio nacional, así como todos los materiales auxiliares dada la baja calidad comprobada de estos elementos en otros países donde el ET ha desplegado. Es de interés consultar las incompatibilidades de determinados materiales con el agua y de diversos materiales entre sí en el DB HS 4 del CTE en el punto 6.3 para confeccionar las redes con los materiales disponibles adecuados.

Las redes deben estar protegidas tanto desde un punto de vista mecánico como desde un punto de vista térmico para evitar roturas y heladas. La protección térmica la proporcionan coquillas y tubos de corrugado semirrígido que actúan como aislante y la protección mecánica, camas de arena de miga sin gravas ni elementos con aristas vivas y una capa superficial del mismo material de al menos 10 cm de espesor. En los puntos de cruce con zonas de paso, tendrán la protección necesaria para evitar su aplastamiento como losas de hormigón armado, perfiles metálicos o la solución constructiva óptima en cada caso. Deben aprovecharse los viales en su trazado y colocar una arqueta con sus correspondientes llaves de corte, en cada cambio de alineación recta debidamente señalizada para la subsanación de posibles averías.

Es conveniente también dejar señalizado el trazado sobre el terreno como medida de precaución para evitar roturas y facilitar las reparaciones.

Las redes de distribución deben ser independientes con el siguiente criterio:

- Redes de agua potable.
- Redes de agua técnica incluyendo la instalación contra incendios.

Ambas deben estar claramente separadas y señalizadas, de modo que especifiquen en cada toma si es potable o no. Si coinciden en el trazado en algún punto debe estar por encima siempre la red de agua potable y debajo la técnica.

Si las dos redes anteriormente descritas coinciden además con la red de saneamiento, esta debe situarse por debajo de ambas en el orden ya mencionado.

El cálculo de las redes se puede realizar mediante hojas de cálculo por el método de Hardy-Cross y también con el *calculador de campamentos* ya mencionado. En la NOP del MING 0301/2011 «Construcción de una COP», se muestra en el Anexo «G» el cálculo de las redes de distribución de una COP tipo.

La red de distribución de agua técnica normalmente se abastecerá de aguas pluviales que se recogen como ya se describió en el punto «3.1 Captación», y se canalizan por medio de redes separadas de las de aguas potables a los depósitos de almacenamiento enterrados y desde estos a los de contraincendios, lavaderos, etc. para su tratamiento y almacenamiento. También

se puede abastecer de aguas grises originadas por lavanderías y cocinas con el tratamiento adecuado. El cálculo de las redes de agua técnica es análogo al de redes de agua potable.



Figura 8. Agua técnica utilizada lucha contra incendios. Fuente: <https://copecdnmed.copec.es/resources/jpg/8/2/1561618197328.jpg>

4 Saneamiento de aguas residuales en campamentos militares

Las aguas residuales son las producidas por el ser humano y sus actividades y que, por tanto, contienen desechos. En los campamentos militares se producen de igual forma este tipo de aguas, que se clasifican habitualmente como:

- Aguas blancas o pluviales, procedentes de la lluvia que se tratará de utilizar en propio beneficio.
- Aguas grises procedentes de lavabos, duchas, lavadoras, cocinas, etc. que, al disponer de red separativa de las negras, puede ser tratada y reutilizada como agua técnica.
- Aguas negras procedentes de los inodoros con mucha más contaminación que las anteriores fundamentalmente materias fecal.

Los campamentos militares se pueden asimilar al concepto de pequeña población en cuanto al tratamiento de este tipo de aguas. Desde este punto de vista, a los campamentos militares de menos de dos mil habitantes-equivalentes se le aplica el artículo 6 del RDL 11/1995 sobre tratamiento adecuado a las aguas residuales y, posteriormente, el RD 509/1996 que define la calidad del efluente en el cuadro siguiente.

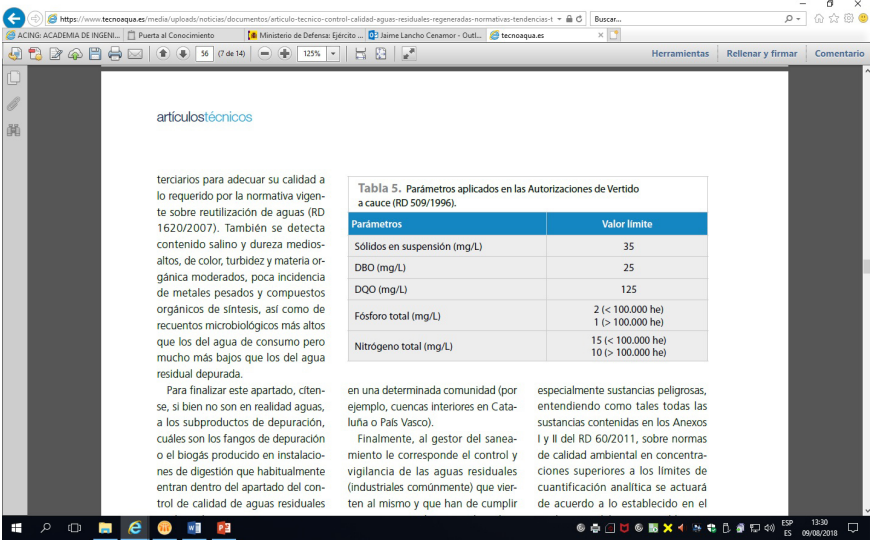


Figura 9. Parámetros y límites de calidad del efluente

El STANAG 2582 hace la siguiente propuesta para los efluentes:

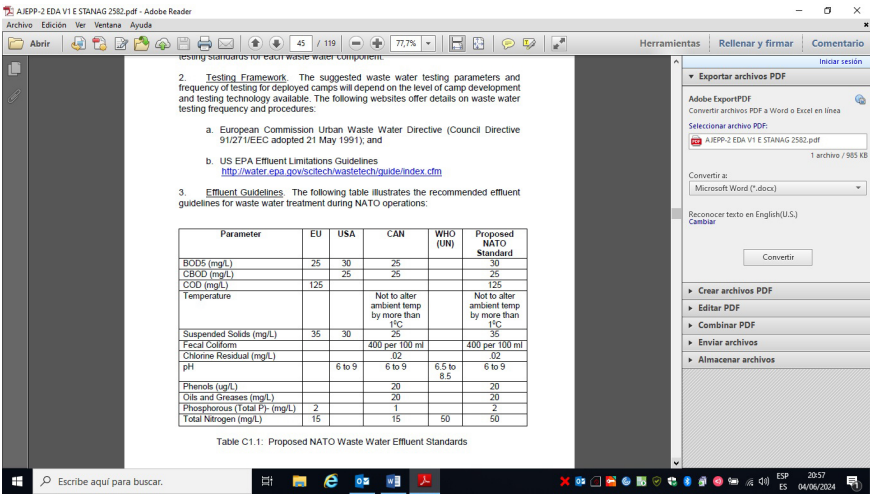


Figura 10. Parámetros de aguas residuales de la OTAN

Los sistemas de saneamiento empleados en los campamentos militares en función de cómo agrupen los tres tipos de aguas residuales pueden ser:

- Unitario: en el que los tres tipos de aguas se depuran de forma conjunta. Este sistema es *a priori* el más antieconómico, pues, aunque se emplea menos material en su construcción, es más

caro de mantener y necesita sobredimensionar la depuradora para asumir más caudal de agua que en las redes separativas.

- Separativo: en él, una red conduce las aguas negras y otra las aguas grises y blancas. Es más caro de construir, pero más barato de mantener y ajusta el tamaño de la EDAR. Las aguas grises solo se juntan con las blancas para tratarlas y emplear ambas como agua técnica.
- Mixto: es el sistema más empleado en los campamentos militares. Los contenedores de ablución disponen de una sola salida de aguas residuales con lo que mezcla la negra de los inodoros con la gris de lavabos y duchas y pasa toda a una red de aguas negras.

Por otra parte, el agua pluvial se canaliza en otra red para su aprovechamiento, bien como técnica o como agua bruta para emplear en abastecimiento tras el oportuno tratamiento. El agua gris de cocina, lavandería, etc.; al depender de la situación, puede unirse al agua pluvial para empleo como agua técnica o bien unirse a la red de aguas negras.

Es recomendable colocar a la salida de las aguas grises de la cocina un separador de grasas, con el fin de poder usar esa agua como técnica y facilitando así el tratamiento de esta.

La mejor opción, *a priori*, es emplear el sistema mixto con una salida de aguas unitaria en los contenedores de ablución para negras y grises con una red propia para estas aguas hasta la EDAR y otra red con aguas pluviales y grises de cocina y lavandería para su tratamiento como agua técnica con las precauciones ya expuestas con anterioridad sobre separación de redes desde el principio diferenciando la red de evacuación de aguas negras (incluye los vertidos de grasas u otros contaminantes) de las que solo llevan trazas de detergentes (aseo personal).

No obstante, si la escasez de agua lo aconsejara se pueden dedicar las aguas blancas para consumo y las aguas grises de cocina y lavandería para tratamiento de agua técnica. Las aguas pluviales de los primeros minutos deben ser tratadas como las aguas negras y, por tanto, conducidas a la EDAR, el resto las agua pluviales se canaliza a la red de aprovechamiento, ya sea para potabilización o para tratamiento como agua técnica según los casos.

La conducción de las aguas residuales se debe realizar aprovechando la pendiente natural del terreno para dársela a las tuberías. Estas pueden instalarse en sencillos tramos rectos y cortos

en el caso de unir contenedores de ablución con fosas sépticas que se encuentren a poca distancia; en este caso, la precaución más elemental consiste en dar una pendiente adecuada hacia la fosa para facilitar el desagüe por gravedad y respetar el diámetro de salida del contenedor, que, en la mayoría de los modelos de los que dispone el ET, es de 125 mm, este valor puede aumentarse a 200 mm con un adaptador por facilidad de suministro y una pendiente mínima de 4 m/km, pero en ningún caso puede reducirse el diámetro ya que se producirían atascos.

Para las aguas blancas y las grises de cocinas y lavanderías el trazado debe aprovechar la pendiente natural para evacuación de aguas de escorrentía igual que en el caso del drenaje. El diámetro mínimo recomendado es de 200 mm y el material a emplear debe ser poco erosionable del tipo polietileno y PVC. En este caso, la relación entre el diámetro de la conducción y la pendiente mínima se refleja en la tabla siguiente:

Ø	200	250	300	400	500	600	700	800	900
Pdte min m/ Km	4	2,7	2,2	1,45	1,1	0,8	0,67	0,55	0,5

De este modo, se consigue que la velocidad del agua esté entre los valores mínimos de 0,5 m/s a caudal medio y 5 m/s a caudal máximo, con lo que se consigue que se mantenga un poder de arrastre de las aguas y se evite la sedimentación en la tubería y una posible erosión de los conductos que produzca un desgaste prematuro de los mismos.

El procedimiento para la implantación del saneamiento debe estar establecido desde TN ya que se necesita desde el primer momento.

Una posibilidad es la siguiente:

- Entrada y durante la construcción del campamento con WC químicos y empresa contratada para su evacuación y mantenimiento. Drenaje de aguas blancas y grises fuera de la zona del campamento aprovechando el trazado de los viales o a depósitos de vaciado periódico contratado con empresas.
- En cuanto sea posible, instalación de contenedores de ablución conectados a fosas sépticas de vaciado periódico contratado con empresas. Drenaje mejorado de aguas grises y blancas.

- Instalación de la EDAR y construcción de la red de evacuación de aguas negras. Construcción de la red de captación de pluviales y montaje de los depósitos que procedan (para agua bruta destinada a potabilización, o a el tratamiento de agua técnica).
- Construcción de depósito de tormenta. Perfeccionamiento de la red de drenaje al citado depósito. Construcción de la red de captación de aguas grises aprovechando la red de drenaje ya construida. Construcción de la planta de tratamiento de aguas grises para su uso como agua técnica. Construcción de depósitos de agua técnica para uso contraincendios en un primer momento y, posteriormente, para lavado de vehículos, riego y otros usos.

La gestión de las aguas residuales debe ser, evidentemente, progresiva y perfectible. Para la medición de la contaminación de las aguas residuales se emplea la unidad habitante-equivalente (Hab-Eq) definida en la normativa como «carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), de 60 gramos de oxígeno por día». Para el dimensionamiento de la EDAR se puede consultar en una larga lista de publicaciones, una de ellas es el *Manual de implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. CEDEX-CENTA en el punto 2.11. «Caudales y cargas para el diseño de la estación depuradora».

Los tratamientos más habituales de las aguas residuales en pequeñas comunidades y, por tanto, aplicables a los campamentos militares son:

Pretratamiento, cuyo objetivo es eliminar la mayor parte de los contaminantes que por tamaño y naturaleza no conviene que pasen a otras zonas de tratamientos como áridos gruesos y flotantes. En nuestro caso, se deben eliminar grasas y celulosas, ambas muy perjudiciales en la eficiencia de los procesos posteriores. Los de grasas e hidrocarburos deben disponerse lo más próximos a las cocinas o talleres que sea posible, para evitar su emulsión en el agua.

A su vez, se divide en:

- Desbaste, para la eliminación de partículas de tamaño pequeño-mediano interceptándolas con rejillas y tamices.
- Desarenado, para la eliminación de materias densas como arenas con diámetros mayores de 0,2 mm. De este modo, se evita la sedimentación en canales, conducciones y unidades

de tratamiento, de modo que protege también las bombas de la abrasión.

- Desengrasado, cuya misión es eliminar las grasas y resto de materia más ligera que el agua que esté en flotación. El desarenado y el desengrasado se pueden realizar de modo conjunto, generalmente, con un desarenador-desgrasador aireado de puente móvil.

Tratamientos primarios, cuyo objetivo es la eliminación de los sólidos en suspensión y flotantes.

Existen las siguientes posibilidades:

- Fosas sépticas. Son un sistema sencillo de tratamiento de las aguas residuales cuyo objetivo principal es la eliminación de los sólidos existentes en el agua. Se emplea como tratamiento único en campamentos de menos de 250 Hab-Eq o como tratamiento primario en campamentos de hasta 1000 Hab-Eq.
- Tanque Imhoff. Es un depósito con dos zonas diferenciadas, una superior de sedimentación donde se produce la decantación de los sólidos y otra inferior denominada zona de digestión donde se almacenan y digieren los sólidos decantados. Están separados por una estructura que impide el paso de los gases de la zona de digestión a la de sedimentación. Se emplea como alternativa a la fosa séptica con las mismas limitaciones de separación de aguas pluviales y grises.
- Decantación primaria. Su objetivo es la eliminación de la mayor parte de los sólidos en suspensión por acción de la gravedad. Implica la construcción de la EDAR por lo que supone, normalmente, una inversión económica y unos plazos de construcción y puesta en servicio que solo se rentabilizan en el caso de campamentos de una cierta entidad, por encima de 500 Hab-Eq y una previsión de permanencia a medio y largo plazo siempre por encima de los dos años.

Tratamientos secundarios: el objetivo es la eliminación de la materia orgánica biodegradable disuelta o en forma coloidal y el resto de sólidos y nutrientes. Se pueden emplear las siguientes posibilidades:

- Aireaciones prolongadas. Es una variante del sistema convencional de fangos activos. Consta de cuatro fases, una oxidación biológica en el reactor biológico, convenientemente aireado, que contiene un cultivo bacteriano en suspensión que degrada la materia orgánica en condiciones aeróbicas, una decantación

secundaria que separa el sólido del líquido mediante un decantador o clarificador, una recirculación de fangos (cultivo) para mantener la concentración de microorganismos y la retirada periódica de los excesos de fangos para su posterior tratamiento que puede ser desecado y bien almacenado y posterior traslado a planta de mayor entidad contratada al efecto.

- Lechos bacterianos. Consisten en la variante tradicional de los procesos de biopelícula. La oxidación se consigue al hacer circular a través de un medio poroso aire y agua residual. La biopelícula de microorganismos se desarrolla y crece sobre la superficie del material poroso de relleno que suele ser piedra o piezas plásticas con mucha superficie por unidad de volumen. El agua residual entra desde arriba en el lecho bacteriano y el aire por debajo, así se produce la digestión de forma aerobia de forma que los fangos y el exceso de agua se dirigen a un decantador-clarificador secundario para separación de fangos y aguas, una parte de las cuales se redirigen al lecho bacteriano.
- Contactores biológicos rotativos. Consisten en unos soportes giratorios (discos o cilindros) semisumergidos en el agua residual sobre los que se adhiere la biocapa. Constan de dos fases, el contactor propiamente dicho y el decantador-clarificador para la separación de fangos y aguas tratadas.



Figura 11. Piezas empleadas en lechos bacterianos. Fuente: <https://th.bing.com/th/id/OIP.mqOQcVtAI2UJJtU2BczGswHaE8?rs=1&pid=ImgDetMain>



Figura 12. Discos en lecho bacteriano. Fuente: <https://th.bing.com/th/id/R.55c3fe2266a8fcab38b9534ad9dda10e?rik=fiC9BsLfFk2NfQ&riu=http%3a%2f%2fwww.aguasresiduales.info%2fmedia%2fimages%2fckfinder%2fuserfiles%2fimages%2f1012.JPG&ehk=SLHn0C5XQgHwJRSEdYShXyAHzVZVdrNznvN8bavNUiw%3d&risl=&pid=ImgRaw&r=0>

Los tratamientos terciarios permiten obtener efluentes de mayor calidad en los cuales se eliminan los nutrientes y los patógenos. De este modo, se minimizan los riesgos de eutrofización de las aguas receptoras del efluente y la contaminación por los virus existentes en el agua residual. Normalmente, tienen una primera fase a base de filtros mecánicos tipo arena o tierra de diatomeas seguida de otros procesos como la filtración por procedimientos de ósmosis inversa y aplicación de luz UV.

La aplicación de estos tratamientos al efluente se realiza cuando el objetivo es obtener agua regenerada para su empleo posterior, esto es, conseguir un agua con unos estándares de calidad en principio para ser reutilizada como agua técnica y, *a priori*, no es el caso de los campamentos militares hasta la fecha. Como medida adicional de seguridad, es conveniente clorar el efluente antes de verterlo al medio.

Los tratamientos extensivos como el lagunaje y los humedales artificiales son sostenibles desde un punto de vista medioam-

biental, pero difíciles de implantar en los escenarios actuales de despliegue del ET, por lo que se opta mayoritariamente por los tratamientos intensivos antes expuestos tanto en tratamientos secundarios como terciarios.

Los subproductos sólidos resultantes de los tratamientos a los que se someten las aguas residuales en las EDAR (fangos y resto de detritus separados en el pretratamiento) se deben eliminar también. Se desecan y una parte se incinera, otra se desecha en vertedero y el resto se puede utilizar como abono agrícola.

Se deben tener especiales precauciones en cuanto a la incineración, ya que los humos de una combustión inadecuada o la movilización por el viento de las cenizas resultantes presentan un potencial patógeno elevado. La incineración debe hacerse en un horno específico y a elevada temperatura para garantizar la destrucción de los organismos patógenos. En el caso de los campamentos, lo más práctico es contratar una empresa local para la retirada y el posterior tratamiento de estos fangos.

Para un estudio en detalle de cada uno de estos procesos y evaluación de su idoneidad para cada caso concreto en función de las ventajas e inconvenientes que presenta cada uno de ellos, se recomienda la consulta en el *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. CEDEX- CENTA.

Una solución al tratamiento de las aguas residuales en los campamentos es el empleo de EDAR modulares, compactas y transportables comercializadas por empresas especializadas que tienen capacidad de instalarlas en casi cualquier lugar del mundo. Estas EDAR cumplen todos los requisitos exigibles a las aguas residuales tratadas en TN y, por ende, los de los países en los cuales el ET pueda desplegar. Es necesario realizar un contrato de mantenimiento especializado con la empresa que instale este tipo de equipos, con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de estas y así no verter al dominio público hidráulico del país efluentes contaminados.

También es importante contratar con la empresa instaladora el suministro de los productos químicos necesarios para su correcto funcionamiento, sobre todo, si se despliega en escenarios donde la adquisición de estos productos pueda estar comprometida.

Existe la opción de instalar estas depuradoras compactas transportables de diferentes fabricantes para las aguas residuales. Algunas de ellas se montan en contenedores marítimos estándar

de veinte y cuarenta pies para mayor facilidad de transporte, y es posible también instalar varias en paralelo para su funcionamiento selectivo según sea la ocupación del campamento.



Figura 13. Planta depuradora sistema biológico BRM de membranas externas a presión. Fuente: <https://www.protecmed.com/wp-content/uploads/2017/03/Ejercito-I.jpg>

Estas EDAR deben reunir una serie de características para ser operativas y eficaces en nuestros campamentos. Estas características son:

- Ser fácilmente transportables con dimensiones de contenedores estándar.
- Modulares, de forma que puedan trabajar varios módulos en paralelo según las necesidades.
- Ampliables en función del aumento de la ocupación del campamento.
- De rápida instalación y puesta en servicio.
- Duraderas.
- De fácil mantenimiento y operación.
- Reutilizables.
- De bajo consumo energético.
- Bajo costo de mantenimiento y operación.

- Bajo impacto ambiental.
- Disponer de garantías amplias y soporte técnico internacional.
- No deben generar ruidos molestos.
- No deben generar olores desagradables.
- Alta capacidad de tratamiento de forma que los efluentes cumplan las normativas vigentes.

Existe la posibilidad de instalar EDAR contenerizadas de gran capacidad (hasta 5000 Hab-Eq) que podrían dar servicio a cualquier tipo de campamento que haya realizado hasta ahora el ejército español.

No obstante, es importante conocer los parámetros de diseño de estas plantas, muchas veces dimensionadas para países en desarrollo con consumos de agua muy inferiores a los producidos en campamentos militares para evitar rendimientos inferiores a los deseados.

Los retos inmediatos que se plantean son, por un lado, optimizar la evacuación de las salmueras de rechazo en los procesos de desalación, un mejor aprovechamiento de las aguas pluviales y la obtención de agua regenerada efluente de las EDAR con unos parámetros que la pudieran hacer válida como agua técnica.

Bibliografía

ATP-104 WATER PRODUCTION, STORAGE AND DISTRIBUTION

Código Técnico de la Edificación [en línea]. (2022). Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. [Consulta: 2025]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/>

Ejército de Tierra. (2012). *Criterios operativos. Posición avanzada de combate*. Madrid, Ministerio de Defensa.

España. (1995). Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Boletín Oficial del Estado*. 30 de diciembre, núm. 312.

España. (2003). Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *Boletín Oficial del Estado*. 21 de febrero, núm. 45.

- España. (2012). Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Boletín Oficial del Estado*. 20 de septiembre, núm. 227, pp. 66167-66194.
- Hidráulica e Ingeniería Sanitaria. Guion del Dpto. de Vías de Comunicación y Castrametación.
- Hernández Muñoz, Aurelio. (2015). *Abastecimiento y distribución de agua*. Garceta.
- Hernández Muños, A. y Hernández Lehmann, A. (2003). *Manual de saneamiento Uralita*. Ediciones Paraninfo.
- Ortega, E., Ferrer, Y., Salas, J. J., Aragón, C. y Real, A. (2014). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- NOP del MING 0301/2011 «Construcción de una COP».
- NORMA GENERAL 02/14 DEL EME. «CONSTITUCIÓN, GESTIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS MÓDULOS 1000 PARA OPERACIONES».
- STANAG 2136. Water Supply on Operations.
- STANAG 2582 AJEPP 2 EDA V1 Allied Joint Environmental Protection Publication.
- STANAG 2885. Abastecimiento de Emergencia de Agua en Tiempo de Guerra.