



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

PROCESO DE ELIMINACIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL AGUA POR MEDIO DE CARBÓN ACTIVO.

Alumno: Nazaret Martín Fuentes

Tutor: Prof. D. Ruperto Bermejo Román

Depto.: Química Física y Analítica

Octubre, 2018

UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

PROCESO DE ELIMINACIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL AGUA POR MEDIO DE CARBÓN ACTIVO.

Alumno: Nazaret Martín Fuentes

Tutor: Prof. D. Ruperto Bermejo Román

Depto.: Química Física y Analítica

Octubre, 2018

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Resúmenes	3
1.1.1. Título	3
1.1.2. Resumen	3
1.1.3. Palabras claves	3
1.2. Abstract	3
1.2.1. Title	3
1.2.2. Summary	3
1.2.3. Key words	3
2. MEMORIA	4
2.1. Objetivos y alcance del proyecto	4
2.2. Antecedentes	4
2.3. Emplazamiento y ubicación	5
2.4. Normativa aplicable y organismos reguladores	5
2.5. Procedimiento general de potabilización del agua en una ETAP	6
2.6. Proceso de potabilización en la ETAP de Linares	7
2.6.1. Captación del agua	9
2.6.2. Conducciones en alta	10
2.6.3. Potabilización del agua. Tratamientos	11
2.6.4. Depósitos	31
2.6.5. Abastecimiento	31
2.6.6. Red de distribución de Linares	32
2.6.7. Laboratorios. Tipo de análisis y certificaciones	33

2.7.	Descripción y características del problema	34
2.8.	Linares, incidencia encontrada	38
2.9.	Alternativas y justificación de solución adoptada	40
2.9.1.	Nanofiltración.....	40
2.9.2.	Tratamiento con carbón activo	45
2.9.3.	Elección de la alternativa	48
3.	ANEXOS	49
3.1.	Anexo 1. Ubicación de la ETAP.....	49
3.2.	Anexo 2. Localización del municipio de Linares	50
3.3.	Anexo 3 Análisis de autocontrol.....	51
3.4.	Anexo 4. Métodos y técnicas analíticas	55
4.	BIBLIOGRAFÍA.....	67

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Resúmenes

1.1.1. Título

Proceso de eliminación de plaguicidas en el agua por medio de carbón activo.

1.1.2. Resumen

Estudio y elección de una solución para el problema de la presencia de plaguicidas y trihalometanos en el agua que entra en la Estación de Tratamiento de Agua Potable de Linares. Se incluye la explicación de los tratamientos necesarios del proceso de depuración del agua. En este proyecto se proponen tres alternativas de las cuales se elige la eliminación por medio de carbón activo. Dicha elección se explica con detalle.

1.1.3. Palabras claves

Depuración de agua, plaguicidas, trihalometanos, nanofiltración, carbón activo.

1.2. Abstract

1.2.1. Title

Process of elimination of pesticides in water by means of activated carbon

1.2.2. Summary

Study and choice of a solution for the problem of the presence of pesticides and trihalomethanes in the water that enters the Drinking Water Treatment Station of Linares. The explanation of the necessary treatments of the water purification process is included. In this project three alternatives are proposed, from which the elimination is chosen by means of activated carbon. This choice is explained in detail.

1.2.3. Key words

Water purification, pesticides, trihalomethanes, nanofiltration, activated carbon.

2. MEMORIA

2.1. Objetivos y alcance del proyecto

Cuando hablamos de agua potable no nos referimos al agua como la podemos encontrar en la naturaleza. El hecho del contacto con el aire, la superficie terrestre o el paso por el suelo hace que el agua de la naturaleza no se útil para el uso humano ni para la industria. Es por ello que para llegar a obtener un agua válida para el consumo antes debe de pasar por numerosos tratamientos, siendo estos conocidos como proceso de depuración del agua.

“Conocemos como agua potable aquella que cuenta con las condiciones para ser consumida por el ser humano sin restricciones, debido a los tratamientos previos a los que se ha visto sometida, en cuanto a purificación se refiere, por lo que no presenta ningún riesgo contra la salud. Así, el concepto de agua potable se utiliza para nominar al agua que cumple rigurosamente con las normas de seguridad que pueden variar según el país.”. (La Guía, 2000)

Las normas que estipula el estado español podemos encontrarlas en el BOE (boletín oficial del estado) donde aparece el REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. (BOE 45/2003, de 21 feb.). Normativa por la que se justifica este proyecto. En la actualidad hay un nuevo decreto pero está en fase de implantación.

En la ETAP de Linares (Estación de Tratamiento de Agua Potable), la cual es objeto de este proyecto, los parámetros de “plaguicida individual” y “trihalometanos” son los responsables de instalar un sistema que reduzca los niveles hasta estar dentro de los valores establecidos en el real decreto antes mencionado.

En la actualidad, es más frecuente la aparición de estos plaguicidas en el agua de consumo ya que son utilizados en la agricultura para combatir las plagas, eliminar las hierbas no deseadas, etc. El límite máximo es de $0,1\mu\text{g/l}$ para cada uno de ellos a la hora de un agua apta para consumo humano.

Debemos saber que al añadir cloro para la desinfección del agua pueden formarse subproductos no deseables entre los que se encuentran los trihalometanos.

Además, existen otras sustancias que se deben eliminar como aquellas sustancias orgánicas que generan olor y sabor, y que alteran las propiedades organolépticas del agua, y las microcistinas (cianobacterias).

2.2. Antecedentes

Como ya dijimos anteriormente, el objetivo de este proyecto es la ETAP de Linares construida en 1978, la cual ha ido sufriendo diferentes reformas siendo la última en 2003. Tiene un caudal nominal de tratamiento de $1200\text{ m}^3/\text{h}$, y un caudal de agua tratada con una media anual de $16,820\text{ m}^3/\text{día}$, la cual ha descendido debido a la crisis a $14135\text{ m}^3/\text{día}$. En ella, se llevan a cabo diversos procesos unitarios de tratamientos de los cuales hablaremos posteriormente en el punto 1.6.

Gracias a la información facilitada por Linaqua, empresa responsable de esta ETAP, se conoce que en los últimos años han aparecido de manera puntual en las analíticas plaguicidas y trihalometanos, ante lo que es necesario actuar debido a la cada vez más estricta legislación. Debido a lo citado anteriormente, existe una necesidad de dotar a esta ETAP de una instalación para regular, controlar y corregir la existencia de estos dos compuestos.

2.3. Emplazamiento y ubicación

Linares es un municipio perteneciente a la provincia de Jaén, siendo la segunda ciudad de la provincia en cuanto a número de habitantes. Situada entre el sector oriental de Sierra Morena y la parte alta de la depresión del río Guadalquivir, por lo que se pueden apreciar dos zonas bien diferenciadas: la sierra y la campiña. Tiene una situación privilegiada por ser encrucijada de caminos y por su riqueza agrícola, pecuaria y minera. Su extensión es de 197,5 Km². En el anexo 2 podemos ver si emplazamiento geográfico dentro del mapa de España y de la provincia de Jaén.

La nueva instalación se ubicará dentro del recinto de la ya existente ETAP de Linares. La cual está situada en un solar al Noreste en la zona tipográficamente más elevada de la ciudad. Con una superficie de 14.162,54 m², 11.950 m² de ellos son instalaciones y depósitos quedando libres para la nueva instalación 2.212,54 m².

2.4. Normativa aplicable y organismos reguladores

La Agencia Andaluza del Agua, creada el 1 de enero de 2005, es un organismo autónomo que depende de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, y tiene como labor coordinar y desarrollar todas las competencias de ésta en asuntos de aguas. Por primera vez en su historia, con la creación de esta agencia, Andalucía cuenta con los recursos necesarios para desarrollar políticas de aguas adecuadas sobre los principios de sostenibilidad, calidad, garantía de abastecimiento y respeto al medio ambiente.

También el 1 de enero de 2005, la antigua Confederación Hidrográfica del Sur, actualmente Dirección General de la Cuenca Mediterránea Andaluza, pasa a ser competencia de la Junta de Andalucía. Un año más tarde, el 1 de enero de 2006 se constituye la Dirección General de la Cuenca Atlántica Andaluza, la cual abarca las cuencas de los ríos Guadalete, Barbate, Tinto, Odiel, Piedras y Chanza. Posteriormente en año 2010 las competencias del río Guadalquivir vuelven a la confederación hidrográfica del Guadalquivir dependiente del gobierno central.

Es por ello que Andalucía tenía asumidas plenas competencias en la gestión del agua y el dominio público hidráulico en el litoral andaluz, así como sobre canales y regadíos, y sobre las aguas subterráneas pero actualmente han vuelto al gobierno central.

En la actualidad es obligatorio cumplir el **REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.** (BOE 45/2003, de 21 febrero).

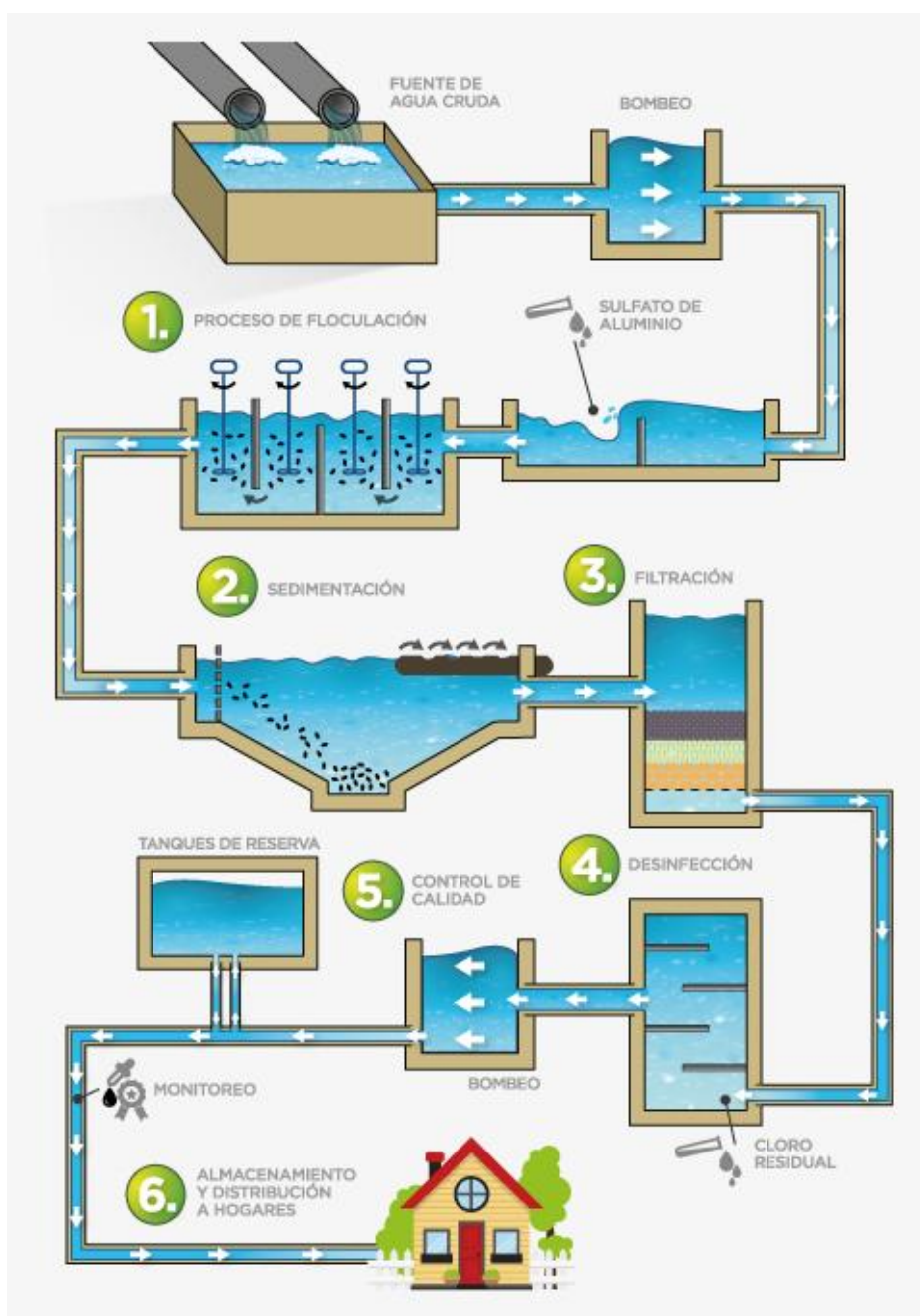
2.5. Procedimiento general de potabilización del agua en una ETAP

En este punto vamos a explicar de manera general el proceso de potabilización del agua sin profundizar demasiado, ya que en el punto siguiente lo explicaremos más detalladamente centrándonos en la ETAP de Linares.

El proceso de potabilización del agua no es un proceso sencillo ya que comprende las siguientes etapas:

- **Captación:** En esta etapa el agua se obtiene de las fuentes naturales. Si esta fuente se trata de un río, el agua requiere un proceso más elaborado debido a la presencia de materiales y microorganismos.
- **Canalización:** el agua captada se conduce hacia la planta Potabilizadora. El sistema utilizado puede ser de aducción, impulsión o como en el caso de Linares una canalización mixta impulsión-aducción. Si se utiliza el primer tipo, el agua se desplaza por su propio peso (gravedad), por encontrarse a un nivel más elevado; pero si el nivel es más bajo, se lleva a cabo mediante bombas, lo que se conoce como impulsión.
- **Floculación:** es el proceso por el cual se eliminan las partículas en suspensión, aplicando agentes químicos que producen que estas partículas se unan formando los “flocs”. Asentándose la acumulación de dichas partículas quedando eliminada la turbidez.
- **Decantación:** el agua se deja paralizada en una gran pileta, para que los sólidos se depositen en el fondo y se produzca una separación líquido-sólido.
- **Filtración:** el agua pasa por un elemento poroso para separar de ella la materia en suspensión. Por lo general, este elemento poroso es arena o a veces antracita, obteniéndose un agua más clara con hasta un 95% menos de microorganismos.
- **Cloración o Desinfección:** se destruyen los agentes microbianos que pudiesen estar presentes en el agua, utilizando diferentes productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, dióxido de cloro, ozono, etc.).
- **Alcalinización:** debido al coagulante del agua, esta se vuelve ácida por lo que es necesario añadir cal para convertirla en apta para el consumo.
- **Distribución:** una vez finalizada la potabilización, el agua se lleva a las estaciones de bombeo (si es necesario) para los depósitos generales y desde ellos se distribuye gracias a la red de tuberías.

Ilustración 1. Proceso general de potabilización

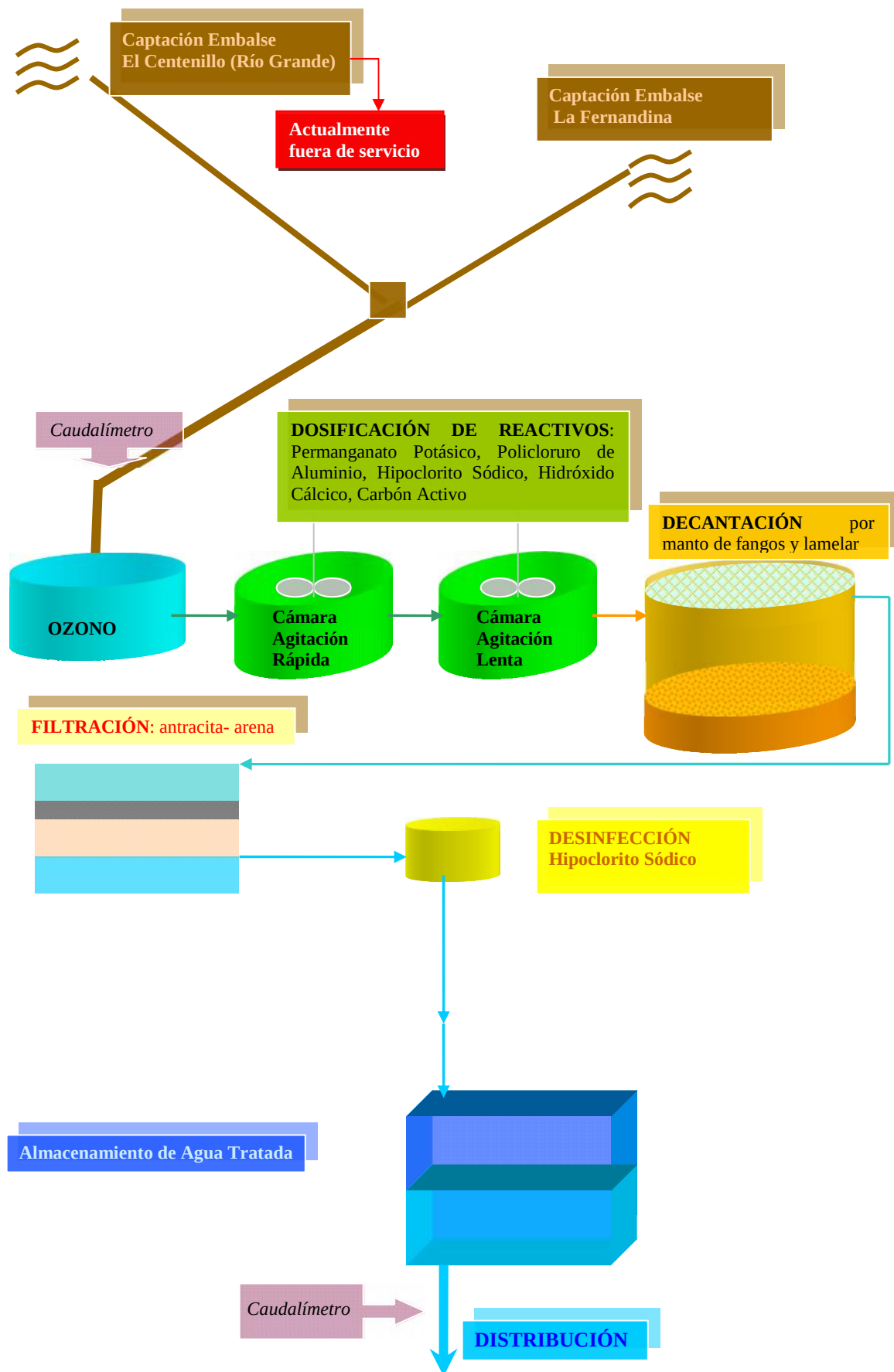


Fuente: Acuacar.com, aguas de Cartagena

2.6. Proceso de potabilización en la ETAP de Linares

El esquema de tratamiento de potabilización del trascurso de agua desde su captación hasta le llegada a los cuidados de Linares identificando todas las etapas es el siguiente:

Ilustración 2. Proceso potabilización Etap de Linares



Fuente: Linaqua, empresa municipal de aguas de Linares

2.6.1. Captación del agua

En Linares han existido dos captaciones, el embalse del Centenillo y el embalse de la Fernandina, pero desde 2011 el primero de ellos dejó de abastecer agua a la ETAP de Linares.

- Captación del Embalse del Centenillo:

Podía aportar hasta, aproximadamente el 35% del agua que llega hasta Linares. La captación del Centenillo consiste en una toma en el propio muro de la presa desde donde se encauza el agua por medio de una conducción y siempre por gravedad, hasta un bombeo situado a pocos kilómetros de la ETAP. Actualmente se encuentra fuera de servicio debido a los desperfectos ocasionados en la conducción tras una riada, por lo que su aporte de agua al abastecimiento es nulo en la actualidad.

Ilustración 3. Embalse del Centenillo



Fuente: Linaqua, empresa municipal de aguas de Linares

- Captación del Embalse de La Fernandina:

Se toma el agua a través de una tubería situada a media profundidad en el propio muro del pantano, que la conduce hasta un bombeo.

Puede aportar entre el 70 y el 100% del agua del abastecimiento pero debido a la deshabilitación ya mencionada del otro embalse, esta captación aporta actualmente el 100% del agua de la zona de abastecimiento, lo que supone unos 5.347 hm³/año.

Ilustración 4. Embalse la Fernandina



Fuente: Linaqua, empresa municipal de aguas de Linares

2.6.2. Conducciones en alta

- Conducción del Centenillo:

Desde el punto de toma del pantano del Centenillo discurre una conducción mixta de 40 km con tuberías de diversos diámetros (entre 450 mm y 600 mm de diámetro en fibrocemento) y canal cerrado con tapas de hormigón, que conduce el agua hasta una impulsión consistente en dos bombas (una en funcionamiento y otra en reserva) de 37 Kw y 324 m³/h a 30 m.c.a. (caudal teórico de impulsión). Esta impulsión eleva el agua hasta la arqueta, situada a pocos metros, donde también se recibe la procedente de La Fernandina. Desde aquí se transporta el agua a la ETAP por gravedad y por medio de una tubería de fundición de 700 mm de diámetro y de 12 km de longitud.

En el tramo de la conducción que transcurre desde el embalse al bombeo, la tubería ha sido arrastrada por una riada, por lo que se encuentra fuera de servicio desde el año 2011. Dado que la avería se encuentra en un paso entre montañas y que también ha sido afectado el puente que sustenta la conducción, la reparación resulta costoso y complicado por lo que Linaqua en este momento no tiene fecha para reparación de la misma.

- **Conducción de la Fernandina:**

Se toma el agua a través de una tubería situada a media profundidad en el propio muro del pantano, que la conduce hasta un bombeo desde donde se impulsa a una arqueta por medio de una tubería de 2,5 km y 500 mm de diámetro de fundición dúctil. Aportar hasta el 100% del agua del abastecimiento. La impulsión consta de cuatro bombas horizontales de cámara partida, de 160 Kw, con caudal teórico de impulsión 306 m³/h a 127 m.c.a.

Desde esta arqueta, donde también se recibía el agua del Centenillo, el agua se conduce por gravedad hasta la ETAP a través de la tubería de fundición de 700 mm de diámetro y de 12 km de longitud, anteriormente descrita.

2.6.3. Potabilización del agua. Tratamientos

La ETAP de Linares como ya dijimos anteriormente tiene un caudal nominal de tratamiento de 1200 m³/h, y el caudal de agua tratada como media anual es de 14135 m³/día. En ella se llevan a cabo los siguientes procesos unitarios de tratamiento:

- ***Ozonización:***

El agua bruta entra en la cámara cerrada de ozono donde se le aplica la dosis necesaria, previamente consignado en función de la calidad del agua. El ozono es un buen oxidante que confiere al agua mejores cualidades organolépticas.

En la siguiente imagen 5 podemos ver el generador de ozono de la ETAP de Linares:

Ilustración 5. Generador Ozono ETAP Linares



Fuente: propia

Ilustración 6. Generador Ozono ETAP Linares (2)



Fuente: propia

Además la ETAP cuenta con un depósito en el exterior (ilustración 7) donde almacenan oxígeno para crear ozono.

Ilustración 7. Depósito de oxígeno ETAP Linares



Fuente: propia

El agua procedente de la cámara de Ozono pasa a una cámara de mezclado de reactivos con una doble agitación: agitación rápida - agitación lenta (imagen 8). Este reactivo se añade en la cámara de agitación rápida:

Ilustración 8. Cámara de mezclado ETAP Linares



Fuente: propia

Donde tendrá comienzo la coagulación del agua y se le aplicarán los siguientes tratamientos unitarios:

- ***Coagulación con Policloruro de Aluminio:***

Según dosificación consignada en función de la calidad del agua, se añade este reactivo que reacciona con las partículas que confieren color y turbidez al agua para formar partículas más grandes llamadas flóculos que son capaces de decantar.

A continuación se muestran los depósitos de Policloruro de Aluminio de la ETAP de Linares:

Ilustración 9. Depósitos Policloruro de Aluminio ETAP Linares (1)



Fuente: propia

Ilustración 10. Depósitos Policloruro de Aluminio ETAP Linares (2)



Fuente: propia

Ilustración 11. Depósitos Policloruro de Aluminio ETAP Linares (3)



Fuente: propia

- ***Pre-oxidación con Permanganato Potásico:***

Este reactivo también oxidante se añade para la eliminación de metales tales como hierro y manganeso muy característicos en la zona por los terrenos circundantes a las captaciones. Según dosificación consignada en función de la calidad del agua

A continuación se muestran el dosificador de permanganato de potasio actual y la cuba de reserva la cual fue sustituida para evitar que los operarios tuvieran contacto con el permanganato en polvo (imágenes 12, 13 y 14).

Ilustración 12. Dosificador de permanganato de potasio y cuba



Fuente: propia

Ilustración 13. Dosificador actual permanganato de potasio ETAP Linares



Fuente: propia

Ilustración 14. Cuba almacenamiento permanganato de potasio ETAP Linares



Fuente: propia

Posteriormente, el agua pasa a una cámara de agitación (ilustración 8 mostrada anteriormente) lenta donde se comenzará la floculación y se le aplicarán los siguientes procesos de tratamiento:

- ***Corrección de pH con Hidróxido cálcico:***

Sólo en caso necesario de corregir el pH del agua se le añade este reactivo. El pH óptimo para que se produzca de forma adecuada la floculación está entre 7,3 y 7,4.

- ***Carbón Activo en polvo:***

Este reactivo se utiliza cuando es necesario por la presencia de pesticidas u otras sustancias susceptibles de ser eliminadas mediante este tratamiento. Este es uno de los tratamientos objetivos de este proyecto y que desarrollaremos posteriormente. Si fuera

necesario realizarlo, es el único reactivo que no se añade en la cámara de agitación sino que se adiciona en los decantadores.

En las imágenes siguientes (imagen 15 y 16) vemos los depósitos de hidróxido de calcio y de carbón activo en polvo.

Ilustración 15. Depósitos de hidróxido de calcio y carbón activo en polvo ETAP de Linares (1)



Fuente: propia

Ilustración 16. Depósitos de hidróido de calcio y carbón activo en polvo ETAP de Lianres (2)



Fuente: propia

- ***Pre-cloración (desinfección) con Hipoclorito sódico:***

Según la consigna indicada se procede a una preoxidación con Hipoclorito sódico para mantener cloro residual libre disuelto en el agua, que garantice la desinfección, a lo largo de todo el proceso, excepto en los casos en que haya incompatibilidad con otros tratamientos.

La ETAP de Linares cuenta con unos depósitos llamados tanques de día en los que se encuentra el hipoclorito sódico y otro de mayores dimensiones (en la foto tanque de color negro) donde se almacena para luego traspasarlo a los tanques de día (imagen tanques color blanco).

Ilustración 17. Tanques de día hipoclorito sódico ETAP Linares (1)



Fuente: propia

Ilustración 18. Tanques de día hipoclorito sódico ETAP Linares (2)



Fuente: propia

Ilustración 19. Tanque almacenamiento hipoclorito sódico ETAP Linares



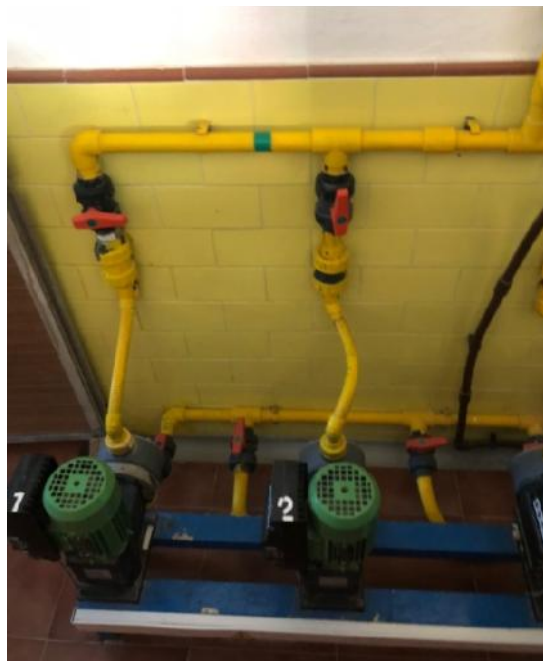
Fuente: propia

Ilustración 20. Instalación de precloración ETAP Linares (1)



Fuente: propia

Ilustración 21. Instalación de precloración ETAP Linares (2)



Fuente: propia

A continuación, el agua pasa a los decantadores (dos decantadores con lamelas y tipo Pulsator) donde tendrá lugar el proceso de decantación, mediante el cual precipitarán los flóculos de mayor tamaño y que serán eliminados y retirados por medio de las purgas de fango.

Las lamelas sirven para producir más cantidad de agua y con más calidad con la misma superficie de decantación. En las siguientes imágenes podemos ver una lamela y los decantadores de la ETAP de Linares:

Ilustración 22. Lamelas (1)



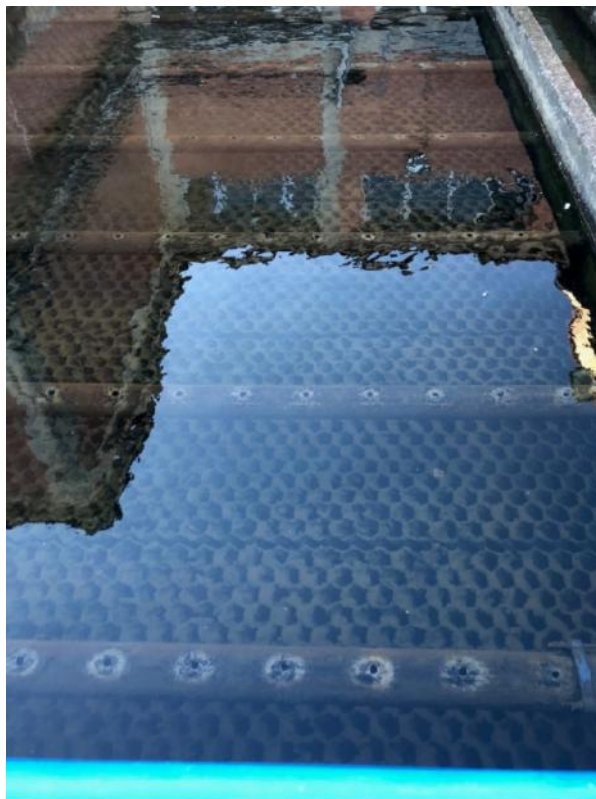
Fuente: propia

Ilustración 23. Lamelas (2)



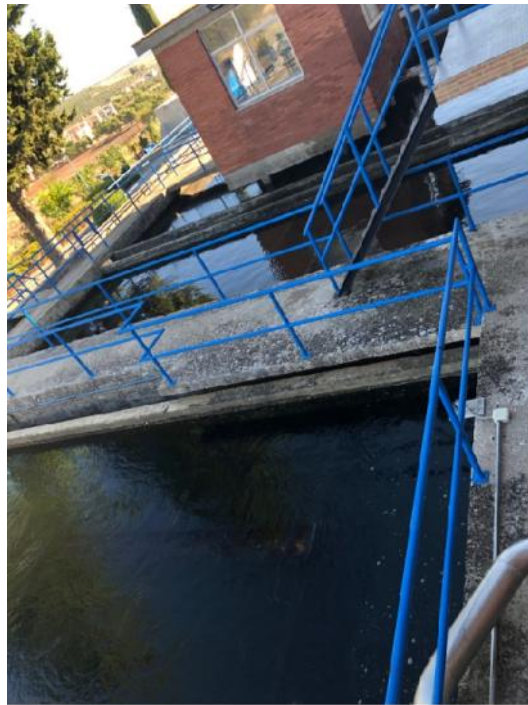
Fuente: propia

Ilustración 24. Decantadores ETAP Linares (1)



Fuente: propia

Ilustración 25. Decantadores ETAP Linares (2)



Fuente: propia

Tras esto, el agua pasa a los filtros (cuatro filtros abiertos, bicapa, por medio de arena y antracita, donde tendrá lugar el proceso de filtración del agua, quedando retenidos los flóculos de menor tamaño formados en etapas anteriores. En la imagen podemos ver la superficie de filtración con la capa de arena y antracita en la superficie y las piscinas de filtrado:

Ilustración 26. Superficie de filtración (1)



Fuente: propia

Ilustración 27. Superficie de filtración (2)



Fuente: propia

Ilustración 28. Depósitos de filtración ETAP Linares (1)



Fuente: propia

Ilustración 29. Depósitos de filtración ETAP Linares (2)



Fuente: propia

Ilustración 30. Depósitos de filtración ETAP Linares (3)



Fuente: propia

Una vez filtrada, se procede a realizar los siguientes tratamientos:

- ***Post-cloración con Hipoclorito sódico:***

Para mantener una concentración de cloro residual libre disuelto en agua tratada, suficiente para mantener garantías de desinfección en toda la red de distribución de Linares, según consignas establecidas en función del cloro residual libre en la red.

Ilustración 31. Instalación de postcloración ETAP Linares (1)



Fuente: propia

Ilustración 32. Instalación de postcloración ETAP Linares (2)



Fuente: propia

Por último, el agua tratada pasa a los depósitos de almacenamiento desde donde se distribuirá el agua a toda la población de Linares.

Los reactivos de tratamiento cumplen con lo dispuesto en la ORDEN SSI/304/2013 de 19 de febrero y la empresa Linaqua deja a disposición de la autoridad sanitaria toda la documentación en el archivo interno de la ETAP.

2.6.4. Depósitos

En la zona de abastecimiento de Linares existen dos depósitos de distribución de agua que son:

- **Depósito de la ETAP de Linares:**

Situado dentro de la propia ETAP y es el que regula y distribuye toda el agua a la zona de abastecimiento de Linares. Está formado por 4 vasos iguales y comunicados, con un volumen total de 20.000 m³.

El depósito es semienterrado y construido en hormigón.

Cada uno de los vasos puede ser independizado mediante sistema de válvulas. Desde este depósito sale una tubería de 1.000 mm de diámetro en fundición dúctil a la red de distribución de Linares.

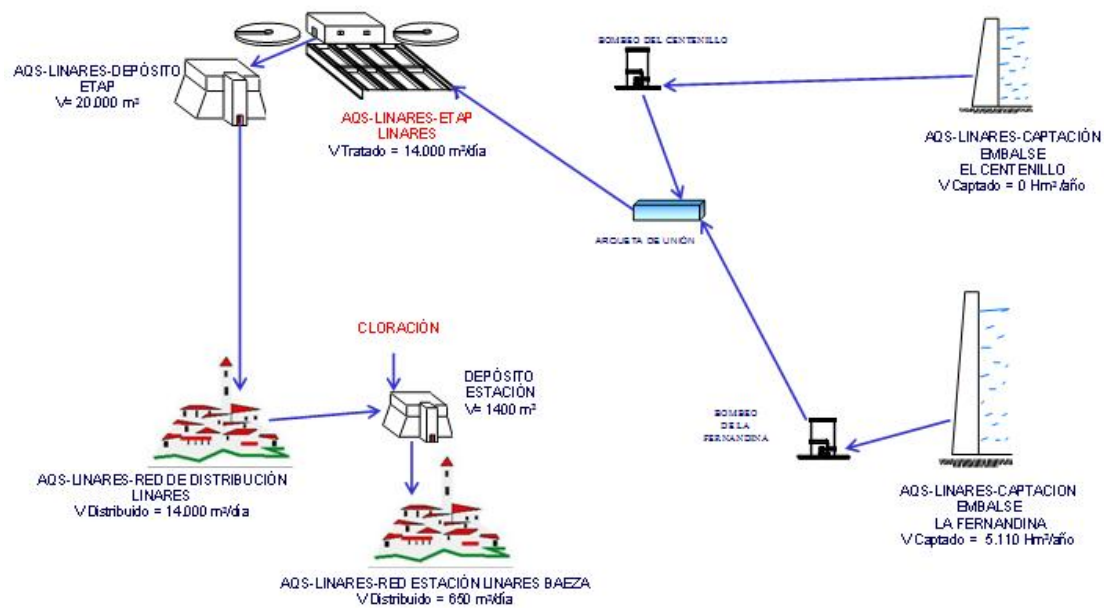
- **Depósito de la Estación Linares-Baeza:**

Situado a 5 km de la ETAP, recibe el agua de la red de distribución de Linares y es un depósito regulador semienterrado construido en hormigón que abastece a la pedanía de la Estación Linares-Baeza. La capacidad del depósito es de 1400 m³.

2.6.5. Abastecimiento

Se muestra un gráfico del sistema de abastecimiento de Linares:

Ilustración 33. Esquema de sistema de abastecimiento de Linares



Fuente: Linaqua, empresa municipal de aguas de Linares

2.6.6. Red de distribución de Linares

La red de distribución de Linares está compuesta de diferentes materiales en las siguientes proporciones: 55% polietileno / PVC, 30% de fibrocemento y 15% de fundición. Los diámetros varían desde 60 a 1000 mm.

La red es mixta es decir, mallada y ramificada, ya que los barrios antiguos mantienen las redes ramificadas, aunque progresivamente se tiende a renovarlas. En estos barrios se conserva la mayoría de la tubería de fibrocemento que discurre por el centro de la calzada, mientras que en las zonas nuevas y de reciente sustitución la red discurre por los Acerados y el material es polietileno o PVC.

Las arterias principales están malladas entre sí, generalmente discurren por el centro de la calzada y permiten el transporte del agua a los distintos barrios. De estas arterias cabe destacar cuatro fundamentales:

1ª) Arteria de la circunvalación: Transcurre por las calles Mártires, Julio Burell, Tetuán, Aurea Galindo hasta la plaza de La Cabria y cierra malla con el ramal que circula por las calles Julio Burell, Jaime I el conquistador, Numancia, Huerta de las Heras, Av. San Cristóbal y plaza de La Cabria y los polígonos industriales.

Los diámetros oscilan entre 700 mm en la C/ Mártires hasta 300 mm en La Cabria. El 70% de esta circunvalación es fundición dúctil y el resto fibrocemento.

2ª) Arteria Estación Linares Baeza: De la tubería principal de 1000 mm de diámetro de salida de depósitos, se deriva este ramal de 600 mm de diámetro en

fundición disminuyendo hasta un diámetro de 450 mm en la barriada de Las Américas. A partir de este punto con tubería de fibrocemento de distintos diámetros se abastece a: Camino de Úbeda y barrio adyacente de nueva construcción, barriada Las Américas, barriada La Paz, barriada Andaluza, Colonia El Sol, y Estación Linares Baeza.

3ª) Arteria Arrayanes: Discurre por las calles Mártires, Ventura de la Vega con tubería de diámetros 500 mm y 600 mm en fundición, hasta la Fuente del Pizar y con diámetros inferiores de distintos materiales se abastece a: zona Paseo Linarejos, zona Santa Bárbara, Mansegosas, Barrio Miranda, Arrayanes, y Villalonga.

4ª) Arteria Santana: Red de 200 mm de diámetro en distintos materiales, comienza cerca de la ETAP y abastece a la factoría de Santana y barrios adyacentes.

2.6.7. Laboratorios. Tipo de análisis y certificaciones

La legislación vigente exige que los laboratorios que realicen análisis de agua de consumo humano, estén acreditados por la UNE-EN ISO/IEC 17025 o la vigente en ese momento para los parámetros realizados en el laboratorio que señala esta disposición, o al menos deberán tener la certificación por la UNE-EN ISO 9002 o la vigente en ese momento, si el laboratorio realiza menos de 5000 muestras anuales.

En el abastecimiento se efectúan los análisis siguientes tipos de análisis:

- Autocontrol (especificado en el Anexo 3). Se realizarán en los laboratorios de Linares los análisis de control, y en el Laboratorio de Jerez los análisis completos.
- Análisis de especial vigilancia, solicitados por la Autoridad Sanitaria. En función del tipo de parámetro se utilizará un laboratorio u otro. Para el caso de plaguicidas, objetivo de este proyecto, utilizan el laboratorio Iproma y/o Laboratorio de Jerez. Otros parámetros podrán determinarse en el laboratorio de Linares o en el laboratorio Aycon.
- Otras determinaciones analíticas de control y rendimiento de las diferentes etapas del proceso de tratamiento, o encaminadas a detectar y prevenir situaciones anómalas. Habitualmente se utiliza el Laboratorio de Linares.

- Laboratorio de Linares (AQS-LINARES-LABORATORIO LINARES).

Cumplen las especificaciones del RD 140/2003 para los parámetros que analiza y cuenta con:

- Certificación por parte AENOR según norma UNE-EN ISO 9001.

- Laboratorio de Aqualia Jerez (AQS-JEREZ-LAB.ZONA SUR).

Cumplen las especificaciones del RD 140/2003 para los parámetros que analiza y cuenta con:

- La certificación UNE-EN ISO 9000/2000.

- Acreditación nº 531/LE 1109, según la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 para la realización de ensayos de aguas.
- Métodos analíticos que cumplen las especificaciones del RD 140/2003 para los parámetros que analiza.

- **Laboratorio Iproma**

- Certificado por SGS norma UNE EN ISO 9001 el 30/05/1997
- Acreditado por ENAC norma UNE EN ISO/ IEC 17025

En el Anexo 4 podemos ver los métodos y técnicas utilizados por cada laboratorio, facilitado por la empresa Linaqua.

2.7. Descripción y características del problema

Debido a la elevada aplicación de pesticidas o plaguicidas en el terreno agrícola aparece un riesgo para la calidad del agua. La alta toxicidad de estos compuestos provoca el interés por controlar la calidad del agua.

Químicamente los plaguicidas son sustancias complejas, ya que una vez usadas en el medio sufren una serie de transformaciones químicas, físicas y biológicas. El traspaso de estos plaguicidas al agua subterránea depende de las características del medio.

Además, es importante tener en cuenta su tiempo de vida (persistencia) y su movilidad (adsorción y solubilidad). La cantidad de compuestos que pueden detectarse provenientes del trabajo agrícola son variados.

Es frecuente en zonas agrícolas, encontrar metabolitos de compuestos organoclorados persistentes (que han dejado de aplicarse hace muchos años, como es el caso del DDT), junto a concentraciones variables de otros compuestos de uso habitual en la actualidad, como es el caso de ciertos triazínicos (atrazina, simazina, etc.).

Es por ello que el uso de estos compuestos orgánicos de síntesis de manera elevada en España está empezando a causar problemas importantes de contaminación en el trayecto de las aguas subterráneas.

Como consecuencia, el RD 207/2003 de 7 de febrero, el cual marca los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, establece límites a la concentración de ciertos plaguicidas (aldrín, dieldrín y heptacloro), incluyendo un límite genérico individual para plaguicidas (0,1 µg/l) y otro para el total de plaguicidas en la muestra de agua (0,5 µg/l).

Es por ello, que queda demostrado el deterioro que provocan en la calidad del agua. Aun así, y como ocurre con todos los compuestos orgánicos de síntesis, es difícil crear un muestreo efectivo por la ya mencionada anteriormente propiedad de alta movilidad en fase acuosa.

Por otro lado, debemos hablar de todos los compuestos químicos que se forman debido al tratamiento de desinfección del agua, especialmente por la adición de reactivos oxidantes. Su origen se debe a la reacción de los reactivos oxidantes con los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua bruta, dependiendo de diferentes parámetros:

- Tipo de desinfectante usado (ozono, cloro, cloraminas, dióxido de cloro)
- Existencia de halogenuros
- Concentración de materia orgánica
- Dosis de desinfectante
- pH
- etc.

El cloro es el agente desinfectante normalmente utilizado, por lo que los DBP que él genera son los más estudiados y conocidos.

Los efectos que tienen los DBP sobre la calidad del agua son:

- los efectos sobre las características organolépticas del agua (olor, sabor)
- los efectos sanitarios (toxicidad).

En las siguientes tablas se resumen los efectos sobre las características de cada compuesto:

Tabla 1. Subproductos de la desinfección que causan olores

Compuesto	Origen	Olor
Aldehídos (alto PM>C₇)	Ozonización	Afrutado/Fragante
Aldehídos (bajo PM<C₇)	Cloración de aminoácidos	Pantanosos/Piscina
Desconocido	Dióxido de cloro	Orina de gato
Clorofenoles	Cloración de fenoles	Medicinal
THM yodados	Cloraminación/Cloración	Medicinal

Fuente: (Rodríguez Vidal, 2003)

Tabla 2. Subproductos de la desinfección (DBP) de varios desinfectantes

Desinfectante	Subproducto
Cloro	Trihalometanos (THM)
	Ácidos Haloacéticos (HAA)
	Haloacetinitrilos (HAN)
	Halopirina (trihalonitrometano)

	Halocetonas (HK)
	Clorofenoles
	Cloruro y bromuro de cianógeno
	Hidrato de cloral
	Aldehídos de bajo peso molecular
	MX, EMX
	? (*)
Cloraminas	Acidos Haloacéticos (HAA)
	Nitrito / Nitrato
	Cloruro y bromuro de cianógeno
	1,1-Dicloropropanona
	Trihalometanos (THM)
	Organocloraminas
	?
Dióxido de cloro	Clorito
	Clorato
	?
Ozono	Bromato
	Carbono orgánico Disuelto Biodregadable (BDOC)
	Aldehidos y cetonas
	Cetoácidos
	Bromoformo y compuestos bromados
	Peróxidos
	Epóxidos
	Nitrosaminas
	?
UV	?
KMnO₄	?

Fuente: (Rodríguez Vidal, 2003)

(*) Pueden formarse subproductos que todavía no se han identificado.

Debemos tener en cuenta que los THMs tienen efectos tóxicos. Destruyen el sistema nervioso y afectan a las funciones hepáticas y renales de manera negativa. Es por ello que el consumo de agua con este compuesto puede verse relacionado con la aparición de cáncer hepático, siendo este su efecto más negativo y sabiendo que son más negativos los THMs bromados que los clorados. Aun así, es importante destacar que los niveles que aparecen en las aguas de consumo son muy bajos, por lo que no está totalmente claro que sean responsables de esta enfermedad. Según la OMS, el consumo de aguas con contenidos de 200 µg/l de cloroformo presentaría un riesgo adicional de producir cáncer cifrado en 1 por 10.000, proporción muy exigua frente a otros compuestos potencialmente tóxicos habitualmente consumidos en mayores dosis por el hombre y presentes en otros alimentos y/o bebidas.

Los compuestos formados durante la cloración son:

Tabla 3. Compuestos formados en la cloración

Benzaldehído	Cloropicrin
Benzilcianida	Dibromoacetanitrilo
Bromoetano	Dibromoiodometano
Bromobutano	Dibromometano
Bromocloroacetanitrilo	Acido dicloro acético
Bromocloroiodometano	Dicloroacetanitrilo
Bromoclorometano	Diclorodibromometano
Bromocloropropano	1,2 - dicloroetano
Bromodiclorometano	Dicloroiodometano
Bromoformo	Diclorofenol
Bromopentacloroetano	Dicloropropano
Bromo propano	Hexacloroetano
Bromotricloroetileno	Hexacloropentadieno
Tetracloruro de carbono	p-hidroxibenzilcianida
Cloral	Iodoetano
Clorobutano	Metilbromodicloroacetato
Clorodibromometano	1,1,1 - tricloro acetanitrilo
Clorodimetano	Tricloro fenol

Fuentes: Efectos de los trihalometanos sobre la salud. Higiene y Sanidad Ambiental, 8:280-290 (2008).

Los parámetros principales responsables de la formación de estos compuestos son:

- concentración de materia orgánica natural
- concentración de bromuro
- pH
- dosis de cloro
- temperatura el agua
- tiempo de contacto cloro-agua

2.8. Linares, incidencia encontrada

Centrándonos en Linares, debemos saber que en el agua obtenida de su captación para ser posteriormente tratada se han encontrado a lo largo de los años concentraciones de sustancias como trihalometanos, terbutilazina, simazina, etc. obligando a aplicar un tratamiento de carbón activo en polvo para eliminar estas sustancias del agua final.

Como control y prevención, añadido a un seguimiento analítico del agua bruta, se ha aplicado una dosis de carbón activo de manera ocasional incluso en momentos de ausencia de plaguicidas y trihalometanos según análisis.

En la siguiente tabla podemos ver la presencia de estos compuestos en los últimos años:

Tabla 4. Evolución de la presencia de trihalometanos y plaguicidas en la ETAP de Linares

Año	Fecha Toma Muestra	Trihalometanos (ug/l)	Terbutilazina (ug/l)	Dosificación de Carbón Activo en Polvo (CAP)
2003	03/09/2003	140	0,03	-
	10/11/2003	59		-
2004	13/01/2004	88		-
	08/03/2004	100	0,074	-
	11/05/2004	96	0,082	-
	12/07/2004	57	0,05	
	13/09/2004	140		-
	15/11/2004	78		-
	15/11/2004	107	0,075	-
2005	10/01/2005	106		-
	07/02/2005	124		-
	07/03/2005	68	0,049	-
	11/05/2005	83	0,143	-
	06/07/2005	82	0,08	-
	06/09/2005	89,187	0,07	-
	07/11/2005	96,594		-
2006	11/01/2006	72,141	0,05	-
	01/02/2006	63,725	0,04	si

	06/03/2006	49,179		si
	08/05/2006	51,296		si
	04/07/2006	106,027	0,03	-
	30/08/2006	99	0,03	-
	06/11/2006	109,6	0,08	-
2007	16/01/2007	52	0,07	si
	13/02/2007	73		
	13/03/2007	99		
	08/05/2007	85	0,08	
	03/07/2004	143		-
	04/09/2007	139		-
	05/11/2007	129	0,03	-
2008	08/01/2008	57	0,03	si
	04/02/2008	43	0	si
	04/03/2008	95	0,03	no
	05/05/2008	72	0	si
	07/07/2008	86	0	si
	01/09/2008	88	0,06	no
	10/11/2008	122	0	no
2009	09/02/2009	91	0,03	no
	04/03/2009	53	0,04	no
	20/04/2009	60	0	no
	11/05/2009	28	0	no
	29/06/2009	55	0	-
	24/08/2009	53	0	-
	30/11/2009	60	0	-
2010	01/02/2010	27	0	
	08/03/2010	71	0	no
	19/04/2010	72	0	no
	10/05/2010	73	0	no
2011	07/02/2011	25	0,05	
	14/03/2011	53	0	no
	25/04/2011	59	0,06	no
	16/05/2011	52	0,07	no
	18/07/2011	40	0,06	-
	12/09/2011	53	0	-
	21/11/2011	35	0	-
2012	13/02/2012	21	0	
	19/03/2012	59	0,05	no
	23/04/2012	55	0	no
	14/05/2012	72	0,05	no
	16/07/2012	0	0	-
	17/09/2012	91	0,05	-
	19/11/2012	37	0,05	-
2013	18/02/2013	43	0,05	
	18/03/2013	67	0	no
	22/04/2013	76	0,05	no
	27/05/2013	65	0,06	no
	08/07/2013	98	0,05	-

	17/09/2013	68	0	-
	25/11/2013	49	0,07	-
2014	10/02/2014	70	0	
	24/03/2014	-45	0	no
	31/03/2014	51	0	no
	22/05/2014	87	0	no
	28/07/2014	34	0	-
	15/09/2014	78	0	-
	20/10/2014	46	0	
	03/11/2014	75	0	-
2015	26/01/2015	50	0	
	23/02/2015	33	0	no
	16/03/2015	36	0	no
	18/05/2015	64	0	no
2016	25/01/2016	30	0	
	22/02/2016	27,4	0	no
	07/03/2016	53	0	no
	23/05/2016	61	0	no
	20/06/2016	61	0	-
	04/07/2016	64	0	-
	26/09/2016	61	0	
	24/10/2016	49	0	-
2017	23/01/2017	50	0	
	06/02/2017	48	0	no
	13/03/2017	19	0	no
	08/05/2017	47	0	no
	19/06/2017	51	0	-
	03/07/2017	30	0	-
2018	08/01/2018	23,7	0	
	12/02/2018	41,5	0	no
				no
				no

Fuente: Linaqua, empresa municipal de aguas de Linares

2.9. Alternativas y justificación de solución adoptada

Para resolver el problema anteriormente expuesto de la existencia de plaguicidas y trihalometanos en la ETAP de Linares, y dando cumplimiento al RD 140/2003, es necesario incorporar nuevos tratamientos que garanticen la calidad del agua.

Se ofrecen tres alternativas:

2.9.1. Nanofiltración

Esta técnica es una técnica de separación mediante membrana, creada para eliminar iones divalentes como el sulfato, calcio o magnesio. Su principal finalidad en el proceso de depuración es descalcificar el agua. Debido a esta utilidad, son una exitosa barrera física frente a las moléculas orgánicas disueltas.

En los últimos diez años, estas membranas han estado estudiadas en usos de eliminación del color provocado por ácidos húmicos y fúlvicos en aguas subterráneas y superficiales, en la eliminación de microcontaminantes orgánicos y en la eliminación de trihalometanos. Por ello, la nanofiltración es especialmente destacable para la existencia de una contaminación crónica por plaguicidas como terbutilazina, simazina o atrazina, o para reducir subproductos de la cloración.

Para tener una perfecta membrana, debe tener las siguientes características:

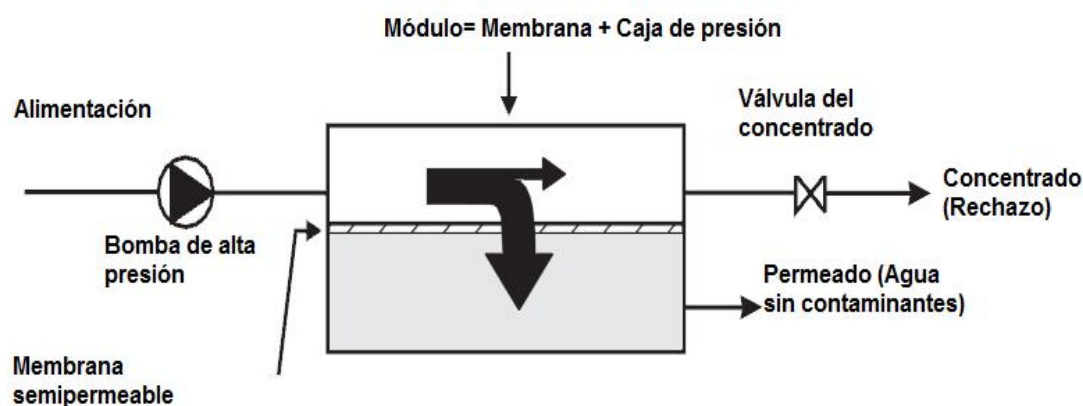
- Alta permeabilidad al agua
- No permitir el paso de algunos solutos

Como ya mencionamos anteriormente, tiene un alto rechazo de iones divalentes y carbono orgánico total, pero un bajo rechazo de iones monovalentes (sodio, bicarbonatos, potasio, nitratos), por lo que facilita tener un alto contenido en sales.

A la hora de diseñar una membrana debes tener en cuenta algunos parámetros:

- **Flujo transmembrana:** El flujo de agua que circula a través de la membrana es uno de los parámetros característicos. Es una magnitud relevante cuando se va a hacer el diseño de la membrana, ya que afecta a la cantidad de membranas que se van a necesitar y se mide en l/m^2 (volumen que atraviesa por unidad de área de la membrana en un periodo y presión determinados). A medida que va empeorando la calidad del agua, se necesita tomar una de las siguientes acciones para solventar el problema: aumentar el número de membranas o disminuir el flujo del agua. Si se lleva a cabo la primera solución, se garantiza no disminuir la capacidad de producción.

Ilustración 34. Representación esquemática de un módulo de membrana de nanofiltración.



Fuente: desconocida

El **paso** a través de la membrana es el porcentaje de sustancias contenidas en el agua de alimentación que atraviesan la membrana.

$$P = \frac{C_p}{C_a} * 100$$

P= Paso

Cp= Concentración del permeado

Ca= Concentración de alimentación

Mientras que el **rechazo** es el concepto contrario, es el porcentaje de sustancias que rechaza la membrana.

$$R = \frac{C_a - C_p}{C_a} * 100$$

R= Rechazo

- **Recuperación:** este parámetro nos da el porcentaje que se obtiene de producto en referencia a un volumen de alimentación. Se calcula mediante la expresión:

$$R = \frac{Q_p}{Q_a} * 100$$

R= recuperación

Qp=caudal permeado

Qa= caudal alimentación

La membrana seguirá rechazará igual porcentaje sin intervenir este parámetro, pero sí que obtendremos mayor recuperación a menor caudal de rechazo. Este parámetro se limita por el coeficiente de solubilidad de las sales y por su precipitación. Una vez se han obstruido los poros de la membrana, se pierden las características y propiedades de ella.

Para intentar aumentar la durabilidad de las membranas se puede:

- Regular el pH. Se puede ajustar su valor hasta que las sales tengan menor tendencia a precipitar.
- Ajustar la temperatura. Se puede controlar la precipitación ajustando la temperatura.
- Añadiendo antiincrustantes. Éstos mantienen las sales en un estado de supersaturación varias veces superior al límite de la solubilidad habitual evitando así su precipitado.

Además, existen diferentes tipos de membranas intentando siempre conseguir el máximo rendimiento de esta, que el sistema sea compacto, una fácil sustitución de la membrana, minimizar la polarización, etc.

La membrana semipermeable es una lámina delgada con cierta fragilidad. Debido al poco caudal unitario de la lámina se necesita mucha superficie para tratar caudales importantes.

Por estas razones se necesita integrar la membrana semipermeable en una estructura que le permita soportar los esfuerzos del proceso de separación y que ocupe el menor espacio. Las principales configuraciones de membranas son:

- **Membrana plana:**

Es la membrana de configuración más antigua. Son láminas semipermeables, pasando el agua de un lado a otro de la membrana, quedándose las sales y pasando solo el agua. La superficie es pequeña y se colocan una sobre otra formando una pila. Si principal inconveniente es su pequeña capacidad de producción.

- **Membranas de fibra hueca o capilar**

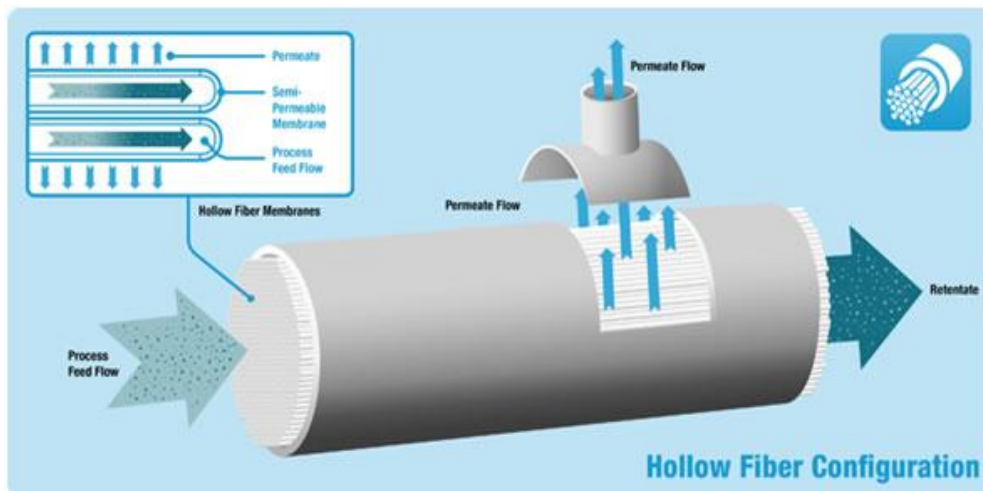
Formada por millones de tubos capilares (del tamaño de un cabello) con su interior hueco. Normalmente hecha de poliamida aromática o mezcla de acetato y triacetato de celulosa.

El tubo donde se encuentran las fibras debe ser resistente a la corrosión. El agua entra por un extremo de la carcasa y se distribuye por un tubo central que va por el interior de la carcasa. El tubo central tiene perforaciones para alimentar las fibras.

Ilustración 35. Fibras de la membrana



Ilustración 36. Membrana de fibra hueca o capilar



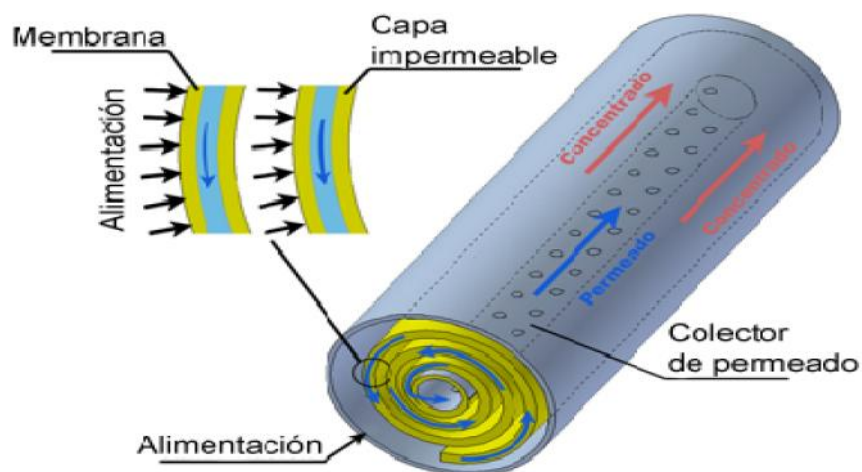
Fuente: www.fibrasynormasdecolombia.com

- Membrana en espiral

Formada por varias láminas rectangulares y planas enrolladas alrededor de un eje cilíndrico con perforaciones que permiten recoger el permeado. Dando lugar a una gran superficie en un espacio reducido.

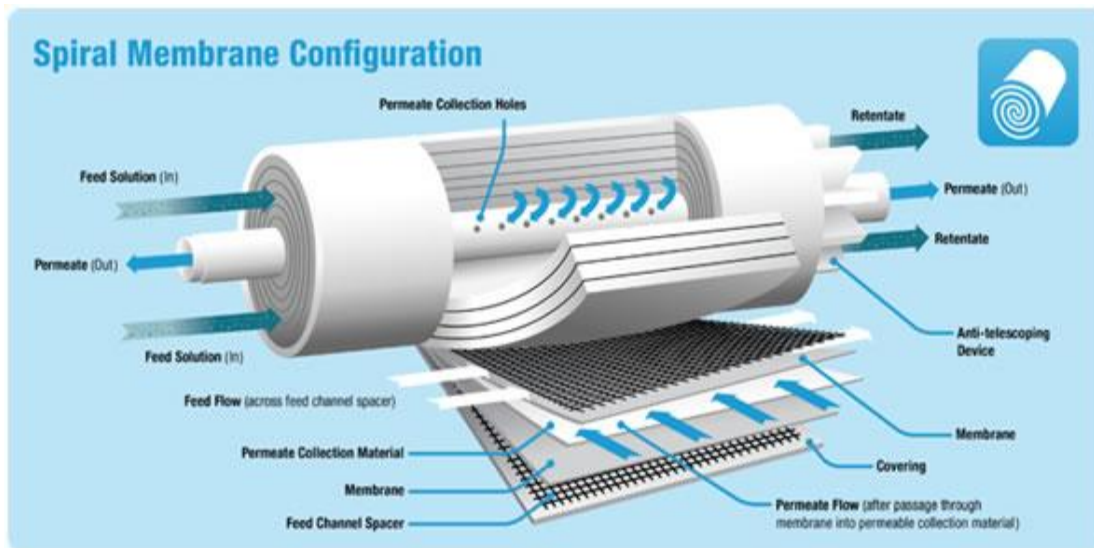
Las láminas semipermeables están alternadas con un separador impermeable y con una malla. Su forma establece el régimen turbulento necesario para evitar la obstrucción de las membranas y distribuye uniformemente la disolución a tratar.

Ilustración 37. Representación de una membrana en espiral



Fuente: (Ministerio de Sanidad, 2009)

Ilustración 38. Membrana en espiral



Fuente: www.fibrasynormasdecolumbia.com

Aplicación en la ETAP de Linares

Tras analizar el proceso de nanofiltración y sus características, la alternativa que se propone para su implantación en la ETAP de Linares es:

- ALTERNATIVA 1.- Instalar un sistema de nanofiltración tras la salida del agua de los filtros convencionales de arena.

Las aplicaciones de la nanofiltración en las ETAPs están principalmente orientadas a la eliminación de sulfatos y descalcificación del agua, pero es un método capaz de hacer frente al problema de trihalometanos y plaguicidas en Linares. Existen además membranas específicas que permiten eliminar estos compuestos y a la vez permiten un ablandamiento parcial con la finalidad de mantener un nivel mínimo de dureza en las características del agua, evitándose así tener que remineralizar el agua posteriormente.

2.9.2. Tratamiento con carbón activo

Los sistemas que ofrecen mayor eficacia y economía a la hora de implantarlos son los aquellos que utilizan como base el carbón activo.

El uso de este carbón aumenta y mejora la etapa de filtración: la arena utilizada en los filtros solo realiza la función de filtrar, en cambio, el carbón activo además realiza propiedades adsorbentes muy favorables para eliminar compuestos orgánicos del agua.

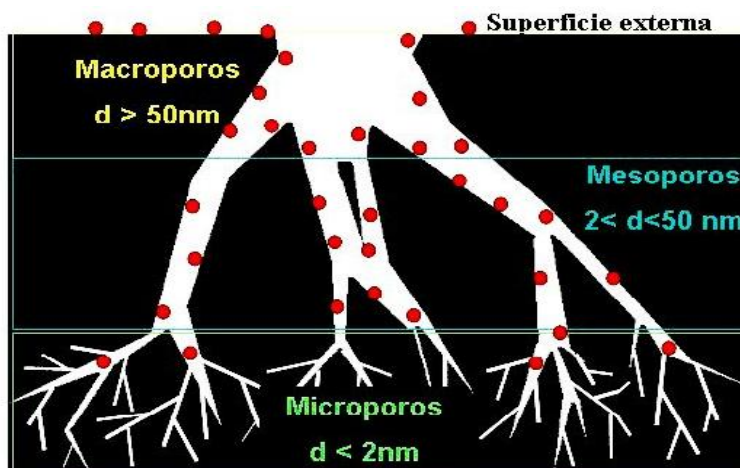
El nombre carbón activo define a un conjunto de materiales formados principalmente por carbono, preparado para obtener una alta superficie interna y una elevada porosidad.

Debido a estas propiedades, el carbón activo es un excelente adsorbente para eliminar sustancias del medio.

La mayoría de los carbones activos presentan un área superficial de 500-1000 m² /g, lo que supone un gran desarrollo de la porosidad en el interior de la partícula de carbón, ya que las paredes de los poros son las que suministran la superficie al sólido. La distribución de tamaños de los poros es un factor esencial en el proceso de adsorción; se pueden clasificar en tres grupos principales:

- macroporos: > 25 nm.
- mesoporos: 1-25 nm.
- microporos: < 1 nm (suponen un 95% del total de los poros).

Ilustración 39. Distribución de los tamaños de poro del carbón activo



Fuente: (Escuela internacional de ingeniería del agua de Andalucía)

Es importante saber la función de cada uno de los poros:

- Microporos: efectividad en la eliminación de pequeñas moléculas y crean la alta superficie del carbón activo.
- Mesoporos: son los responsables de frenar las moléculas de gran tamaño.
- Macroporos: afectan en la velocidad del proceso, ya que difunden las moléculas al interior del carbón.

Algunos de los contaminantes fuertemente retenidos en el carbón activo son:

- Contaminantes orgánicos: colorantes y compuestos coloreados, gran cantidad de compuestos aromáticos (derivados bencénicos, fenoles, compuestos aromáticos nitrados, etc.), pesticidas, diversas macromoléculas orgánicas (sustancias húmicas, etc.).
- Contaminantes inorgánicos: ácido hipocloroso y cloro, amoníaco, cloruro de mercurio (II), cianuros, dicromatos, yodo, molibdatos, permanganatos, etc.

Como apreciamos anteriormente, es capaz de eliminar un gran número de contaminantes, por lo que son numerosos sus usos industriales. Algunos ejemplos son: refinado de aceites, tratamiento de aguas potables y residuales, purificación del aire en industrias, etc.

El carbón activo existe comercialmente en diversas formas físicas, entre las que destacan dos de ellas: el carbón activo en polvo (PAC) y el carbón activo granular (GAC):

- Carbón activo en polvo (PAC): se presenta en forma de partículas con tamaños comprendidos entre 10-50 μ m, y en el proceso de potabilización del agua generalmente se utiliza en combinación con los tratamientos de coagulación-clarificación, para la eliminación de microcontaminantes orgánicos y el control de olores y sabores. Se inyecta de forma continua en el agua, junto con los reactivos de coagulación/floculación, introduciéndose en los flóculos formados por el coagulante y eliminándose posteriormente del agua con ellos, normalmente mediante filtración directa.
- Carbón activo granular (GAC): se usa en columnas y lechos filtrantes. Existen diversos tamaños del grano de carbón activado, siendo éste un factor esencial a tener en cuenta: cuanto menor es el tamaño del grano del carbón mayor es la pérdida de carga del lecho, pero es más rápida la difusión y más corta la zona de transferencia de masa, por lo que el volumen de líquido tratado eficazmente puede ser mayor. En los lechos filtrantes de carbón activo granular, el agua va siendo desprovista de contaminantes progresivamente, de manera que en un momento dado, según se avanza en profundidad en el lecho se encuentran fracciones de carbón activo cada vez menos saturadas.

Aplicación en la ETAP de Linares

Después de estudiar las características del carbón activo y verificar su capacidad para resolver el problema planteado, se exponen las alternativas posibles pensadas para su implantación en la ETAP de Linares. Son estas:

- ALTERNATIVA 2.- Colocar una batería de filtros de carbón activo granular (GAC) tras los filtros convencionales de arena existentes. Lo que eliminará del agua los contaminantes mediante adsorción y quedara cumpliendo los límites que establece la normativa citada con anterioridad.
- ALTERNATIVA 3.- Adaptar la instalación de carbón activo en polvo (CAP) con un nuevo equipo dosificador. En la actualidad, la ETAP de Linares, como medida de urgencia tomada ante resultados analíticos adversos, cuenta con una pequeña cuba de dosificación de carbón en polvo (mostrada en las imágenes 15 y 16), sobre la que se van volcando sacos. A través de una bomba, se dosifica. Este sistema es engorroso y sucio además de que existe el riesgo de que se produzca vertidos accidentales en el exterior de la cuba. Como la instalación que se utiliza es la antigua de dosificación de cal, no podría utilizarse en caso de volver a necesitarla para dicho fin, por lo que la ETAP queda sin poder hacer frente a ambos problemas de manera simultánea.

2.9.3. Elección de la alternativa

Para la elección de la alternativa adecuada, debemos basarnos en factores fiables y claros, que nos ayuden a declinarlos por una u otra posibilidad.

Es importante saber, que las tres alternativas mantendrán el mismo caudal de agua tratada por lo que los ingresos de la empresa no variarán. Esto no será importante para la empresa a la hora de tomar una decisión.

En cuanto a las características organolépticas del agua, las tres alternativas producirán una mejora notable.

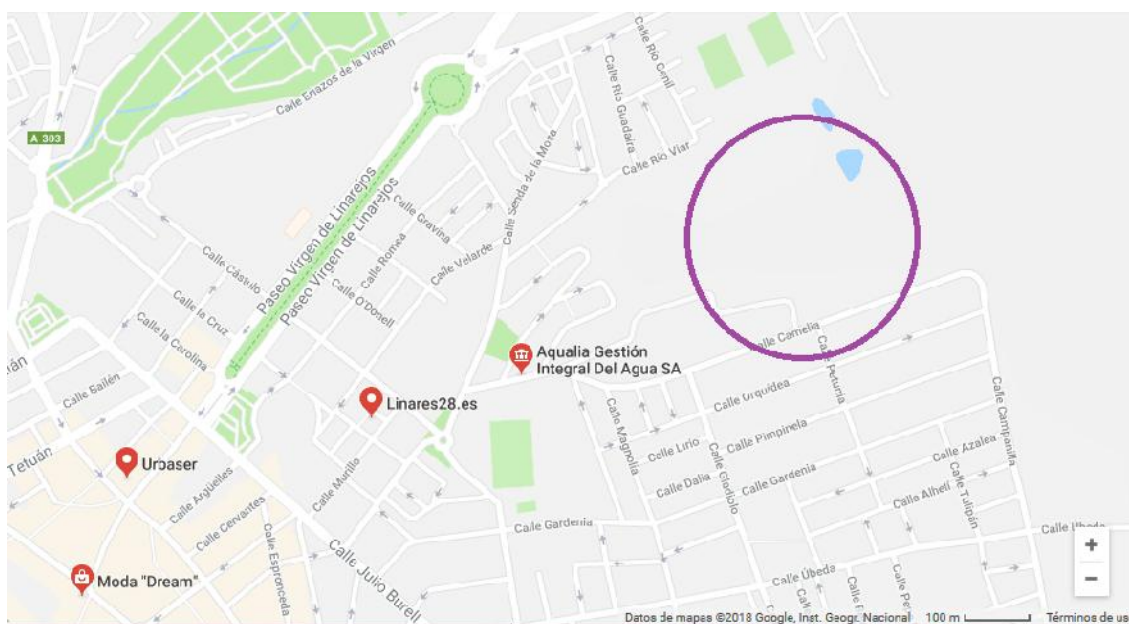
Técnicamente hablando, debemos tener en cuenta diferentes aspectos. Cada uno de los equipos que se necesitan son distintos, pero ninguno de ellos presenta una especial complejidad.

En cuanto al rendimiento del proceso, todas logran que el nivel de plaguicidas y trihalometanos se reduzcan y se encuentren dentro de los límites establecidos por el RD 140/2003.

En base a lo expuesto, los parámetros más representativos para la elección de la alternativa son la idoneidad del proceso, en lo que a una mejor relación calidad del producto/coste de la inversión se refiere, y su rentabilidad. En este sentido, **la alternativa 2 se presenta como la preferente, basada en la implantación de filtros de carbón activo granular para la eliminación de plaguicidas y trihalometanos.**

3. ANEXOS

3.1. Anexo 1. Ubicación de la ETAP



3.2. Anexo 2. Localización del municipio de Linares

- Ubicación de Linares en España



- Ubicación de Linares en la provincia de Jaén



3.3. Anexo 3 Análisis de autocontrol

- **Puntos de muestreo (PM)**

Los puntos de muestreo establecidos en el abastecimiento de Linares son:

- **Depósitos:**

- *Salida de depósito de cabecera / regulación, sito en la ETAP.*
- *Salida de depósito de regulación de la Estación Linares Baeza*

- **Red de distribución:**

El abastecimiento de Linares no supera los 20.000 m³/día distribuidos como media anual, por lo que, según RD 140/2003 solo es necesario establecer un punto de muestreo en red, no obstante, Linaqua dispone de cuatro puntos de muestreo en los que se cuenta con sendas estaciones de muestreo para facilitar la toma. Estos puntos son:

Código Punto Muestreo	SINAC de	Nombre SINAC de punto de muestreo	Red
Cód. PM 41739		AQS-LINARES-AV. SEBASTIAN SAN	Linares
Cód. PM 71475		AQS-LINARES- C/ MADRAZO PINTOR	Linares
Cód. PM 71478		AQS-LINARES-JAIME I EL CONQUISTADOR	Linares
Cód. PM 106061		AQS-LINARES RED ELB	Estación Linares Baeza (C/ sierra Mágina s/n; junto al centro de Salud)

- **Tipos de análisis efectuados**

- **Examen organoléptico:** No se efectúa este tipo de control analítico en el agua, ya que el nº de análisis de control semanales que Linaqua realiza en el abastecimiento, supera sobradamente el mínimo establecido por el RD 140/2003 en su artículo 21, para que sea necesaria la realización del mismo.
- **Análisis de control:** Como norma general, Linaqua, realiza un nº de análisis de control muy superior al establecido por el RD 140/2003.

En el siguiente cuadro comparativo puede apreciarse el nº de análisis de control que establece el RD 140/2003 y el nº aproximado de análisis de control que Linaqua realiza anualmente.

ZONA DE ABASTECIMIENTO	m ³ m ³ /día	PUNTO DE MUESTREO	Nº DE ANÁLISIS	
			R.D. 140/2003	LINAQUA
Linares	14.000	Depósito ETAP	28	104
	1.400	Depósito E.L.B.	1	12
	14.000	Red de distribución Linares	15	52
	650	Red de distribución E.L.B.	2	4

- **Análisis completos:** Linaqua cumple con lo establecido en el RD140/2003 en cuanto al nº de análisis completos a realizar.

En el siguiente cuadro puede apreciarse el nº de análisis completos que se realizan anualmente.

ZONA DE ABASTECIMIENTO	m ³ m ³ /día	PUNTO DE MUESTREO	Nº DE ANÁLISIS COMPLETOS
Linares	14.650	Depósito ETAP	3
	1.400	Depósito E.L.B.	1
	14.000	Red de distribución Linares	3
	650	Red de distribución E.L.B.	1

- **Análisis de radioactividad:** Además dando cumplimiento al RD 314/2016 de 29 de julio, se llevará a cabo la determinación de radiactividad sin radón 5 veces al año, distribuidas a lo largo del mismo, y en cualquier punto de muestreo de ZA, aunque preferiblemente en el Depósito de la ETAP. Si se dieran las circunstancias contempladas en el citado RD podrá solicitarse una reducción de la frecuencia.
- **Análisis del grifo del consumidor:** El Ayuntamiento de Linares ha encargado a Linaqua el control analítico del grifo del consumidor, por lo que se efectúa este tipo de análisis en el Laboratorio de Linares anteriormente descrito.

Según lo establecido en el RD140/2003, el nº de muestras a analizar se calcula en función de la población del municipio, de acuerdo con este criterio, el nº de análisis a realizar en Linares se muestra en la tabla siguiente:

Nº muestras	Población	Nº habitantes
30	Linares	60.000

6	Estación Linares Baeza	1.525
---	------------------------	-------

Esta analítica se realiza a lo largo de todo el año, a razón de tres o cuatro análisis al mes, en puntos de muestreo que se van variando de unos años a otros, pero tratando siempre de hacer un barrido por todas las zonas/barriadas del municipio.

- **Control de la desinfección**

La desinfección del agua comienza en la ETAP a la entrada de agua con la dosificación de reactivos como ozono, hipoclorito sódico y permanganato potásico. La aplicación de estos tratamientos se decide en función de las circunstancias por lo que no siempre se aplican todos ellos. Por otro lado, en la última parte del tratamiento en la propia ETAP se dosifica hipoclorito sódico para mantener niveles de cloro residual libre adecuados en el abastecimiento.

Para controlar los niveles de cloro se llevan a cabo los siguientes controles:

- Medida *in situ* cada dos horas de cloro residual libre en depósito de ETAP como parte del control en el tratamiento.
- Medida diaria *in situ* en días laborables de cloro residual libre en al menos un punto de la red de distribución. En días festivos esta medida se realiza a la salida del depósito de cabecera.
- Medida trimestral de cloro residual libre, en laboratorio certificado, de al menos una muestra de las tomadas en el abastecimiento para el autocontrol.

Instrumentación para la determinación de las medidas:

- Para la determinación de cloro residual libre *in situ* podrá emplearse kit comparador colorimétrico o medidor de cloro electrónico portátil.
- Para la determinación de cloro en laboratorio se empleará el método de espectrofotometría.

En todos los casos el método empleado será el del DPD.

Medidas de control para evitar fallos en la desinfección:

- Medida *in situ* cada dos horas por parte de los operadores de la ETAP para detectar cualquier anomalía.
- Revisión cada dos horas por parte de los operadores de la ETAP de la dosificación de reactivos.
- Medida diaria en días laborables para comprobar que la dosificación de cloro en la ETAP permite mantener niveles correctos de desinfectante residual libre en toda la red de distribución. El establecimiento de esta medida a lo largo del tiempo nos permite tener un conocimiento del comportamiento del cloro residual libre en la red de distribución, en condiciones normales de abastecimiento.
- Medida trimestral en laboratorio certificado de Linaqua. Este método, sometido a control en los laboratorios de Linaqua, permite conocer el grado de desviación respecto a las medidas *in situ*, para asegurar que los valores obtenidos en las medidas de campo son realmente fiables.
- Durante los días no laborables se controla el cloro residual libre con medida *in situ* en la salida del Depósito de la ETAP.

3.4. Anexo 4. Métodos y técnicas analíticas

Laboratorio de Linares

<i>Parámetro / Unidades</i>	<i>Método de Ensayo</i>	<i>Número</i>	<i>Tipo Método Ensayo</i>	<i>Método en uso</i>
Fluoruro mg/l	12710	PNT-F-01	S. Methods nº	SI
Turbidez UNF	1500	PNT-TU-01	S. Methods nº	SI
pH unidades de pH	1502	PNT-pH-01	S. Methods nº	SI
Conductividad µS/cm a 20°C	1503	PNT-CE-01	S. Methods nº	SI
Cloruro mg/l	1504	PNT-Cl-01	S. Methods nº	SI
Sulfato mg/l	1506	PNT-SO4-01	S. Methods nº	SI
Calcio mg/l	1507	PNT-Ca-01	S. Methods nº	SI
Aluminio µg/L	1508	PNT-Al-01	S. Methods nº	SI
Dureza Total (Ca) mg/l	1510	PNT-Dt Mg-01	S. Methods nº	SI
Magnesio mg/l				
Nitrato mg/l	1514	PNT-NO3-01	S. Methods nº	SI
Nitritos mg/l	1515	PNT-NO2-01	ISO nº	SI
Amonio mg/l	1516	PNT-NH4-01	Kit	SI
Oxidabilidad mg/l	1517	PNT-MO-01	ISO nº	SI
Hierro µg/L	1518	PNT-Fe-01	Kit	SI
Manganeso µg/L	1519	PNT-Mn-01	Kit	SI
Cloro Libre Residual mg/l	1520	PNT-Cl2-01	S. Methods nº	SI

Clostridium Sulfito Reductor	1521	PNT-CSR-01	UNE EN ISO nº	SI
UFC/100 ml				
Clostridium perfringens	1522	PNT-CPF-01	Otro	SI
UFC/100 ml				
Olor In. Dil.	1524	PNT-Olor y Sabor-01	Propio	SI
Sabor In. Dil.				
Coliformes Fecales	1525	PNT-CF-01	S. Methods nº	SI
UFC/100 ml				
Recuento de colonias a 22° C	1527	PNT-GT-01	ISO nº	SI
UFC/1 ml				
Alcalinidad mg/l	1528	PNT-TAC-01	ISO nº	SI
Color mg Pt-Co/L	1529	PNT-co-01		SI
Enterococo UFC/100 ml	1530	PNT-ENT-01	UNE EN ISO nº	SI
Escherichia coli UFC/100 ml	1534	PNT-E COL-01	UNE EN ISO nº	SI
Bacterias coliformes UFC/100 ml				

Laboratorio de Jerez

<i>Parámetro / Unidades</i>	<i>Método de Ensayo</i>	<i>Número</i>	<i>Tipo Método Ensayo</i>	<i>Método en uso</i>
Turbidez UNF	605	PNT-aq-TU-01/02	S. Methods nº	SI
pH unidades de pH	602	PNT-aq-pH-01/02	S. Methods nº	SI
Conductividad µS/cm a 20°C	582	PNT-aq-CE-01/02	S. Methods nº	SI
Sulfuros mg/l	604	PNT-aq-S-01/02	Kit	SI

Cloruro mg/l	578	PNT-aq- Cl-01/02	S. Method s n°	SI
Cianuro µg/L	577	PNT-aq- CN- 01/01	Kit	SI
Sulfato mg/l	603	PNT-aq- SO4- 01/02	S. Method s n°	SI
Calcio mg/l	576	PNT-aq- Ca-01/02	S. Method s n°	SI
Nitrato mg/l	600	PNT-aq- NO3- 01/02	S. Method s n°	SI
Nitritos mg/l	601	PNT-aq- NO2- 01/02	ISO n°	SI
Amonio mg/l	566	PNT-aq- NH4- 01/02	S. Method s n°	SI
Mercurio µg/L	599	PNT-aq- Hg-01/01	UNE EN ISO n°	SI
Oxidabilidad mg/l	1152	PNT-aq- MO- 01/02	UNE EN ISO n°	SI
Fósforo mg/l	596	PNT-aq- Pt-01/02	Kit	SI
Fosfatos mg/l	595	PNT-aq- P-01/02	Kit	SI
Hierro µg/L	586	PNT-aq- Fe-01/02	Kit	SI
Manganeso µg/L	597	PNT-aq- Mn- 01/02	Kit	SI
PLA: Atrazina µg/L	2608	PNT-aq- SIMTBA -01	Otro	SI
PLA: Propazina µg/L				
PLA: Simazina µg/L				
PLA: Terbutilazina µg/L				
PLA: Terbutrina µg/L				
PLA: Ametrina				

µg/L				
PLA: Prometrina µg/L				
Carbono orgánico total mg/l	1349	PNT-aq- COT- 01/01	Kit	SI
Cloro Libre Residual mg/l	1124	PNT-aq- Cl2- 01/01	S. Method s n°	SI
Cloro combinado residual mg/l				
Cloro Libre Residual mg/l	11305	Externo- 02	Kit	SI
PLA: Diurón µg/L	11304	Externo- 01	Otro	SI
PLA: Glifosato µg/L				
PLA: Terbutilazina µg/L	6816	PNT-aq- TRIAZ	Propio	SI
PLA: Simazina µg/L				
PLA: Propazina µg/L				
PLA: Ametrina µg/L				
PLA: Prometrina µg/L				
PLA: Terbutrina µg/L				
Clostridium Sulfito Reductor	2609	PNT-aq- CSR-01	Otro	SI
UFC/100 ml				
Clostridium perfringens	579	PNT-aq- CPF- 01/01	Otro	SI
UFC/100 ml				
Fluoruro mg/l	585	PNT-aq- F-02/01	S. Method s n°	SI
Olor In. Dil.	1123	PNT-aq- Olor y Sabor-	Propio	SI
Sabor In. Dil.				

01/01					
Recuento de colonias a 22° C	564	PNT-aq-Ger-02/01	ISO n°	SI	
UFC/1 ml					
Alcalinidad mg/l	565	PNT-aq-TAC-01/02	S. Method s n°	SI	
Color mg Pt-Co/L	771	PNT-aq-color-01/02	S. Method s n°	SI	
Enterococo UFC/100 ml	583	PNT-aq-EC-01/02	ISO n°	SI	
Anhídrido carbónico mg/l	580	PNT-aq-CO2-02/02	S. Method s n°	SI	
Escherichia coli UFC/100 ml	581	PNT-aq-CTEC-01/01	ISO n°	SI	
Bacterias coliformes UFC/100 ml					
Magnesio mg/l	768	PNT-aq-DtMg-01/02	S. Method s n°	SI	
Dureza (° franceses) °f					
Benzo(a)pireno µg/L	1122	PNT-aq-PAHS-01/01	Propio		
Benzo(b)fluoranten o µg/L					
Benzo(ghi)perileno µg/L				SI	
Benzo(k)fluoranten o µg/L					
Indeno(1,2,3-cd)pireno µg/L					
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos µg/L					
PLA: Aldrín µg/L	772	PNT-aq-PLAG-01/01	Propio		
PLA: Dieldrín µg/L					
PLA: Heptacloro µg/L					

PLA: Heptacloro, epóxido µg/L				
Total de plaguicidas µg/L				
PLA: DDD, otros isómeros µg/L				SI
PLA: DDE, p,p' µg/L				
PLA: DDT, p,p' µg/L				
PLA: Endosulfán, sulfato µg/L				
PLA: Endrín µg/L				
PLA: Endrín, aldehído µg/L				
PLA: Terbutilazina µg/L				
PLA: HCH, alfa µg/L				
PLA: HCH, beta µg/L				
PLA: HCH, gamma o Lindano µg/L				
PLA: HCH, delta µg/L				
PLA: Endosulfán, alfa µg/L				
PLA: Endosulfán, beta µg/L				
PLA: Trifluralina µg/L				
PLA: DDE, otros isómeros µg/L				
PLA: DDT, otros				

isómeros µg/L				
Benceno µg/L	766	PNT-aq-VOC'S	Propio	
Tricloroeteno + Tetracloroeteno µg/L				
1,2-Dicloroetano µg/L				SI
Tricloroeteno µg/L				
Tetracloroeteno µg/L				
Bromodiclorometano µg/L	764	PNT-aq-THM-01/01	Propio	
Bromoformo µg/L				SI
Cloroformo µg/L				
Dibromoclorometano µg/L				
Trihalometanos (THMs) µg/L				
Boro mg/l	606	PNT-aq-ICP-01/01	ISO nº	
Arsénico µg/L				
Antimonio µg/L				
Aluminio µg/L				
Hierro µg/L				
Plomo µg/L				
Cobre mg/l				
Cromo µg/L				
Níquel µg/L				
Sodio mg/l				
Potasio mg/l				SI
Calcio mg/l				

Selenio µg/L
Cadmio µg/L
Manganeso µg/L
Magnesio mg/l
Dureza Total (Ca) mg/l
Sílice mg/l
Q: Plata µg/L
Q: Zinc µg/L
Q: Cobalto µg/L

Laboratorio de Iproma

<i>Parámetro / Unidades</i>	<i>Método de Ensayo</i>	<i>Número</i>	<i>Tipo Método de Ensayo</i>	<i>Método en uso</i>
Benceno µg/L	1679	CGM/00 2-a	Propio	SI Acreditado
1,2-Dicloroetano µg/L				
Bromodiclorometano µg/L				
Bromoformo µg/L				
Cloroformo µg/L				
Dibromoclorometano µg/L				
Tricloroetano + Tetracloroetano µg/L				
Tetracloroetano				

µg/L				
Tricloroeteno µg/L				
Trihalometanos(TH Ms) µg/L				
PLA: Aldrín µg/L	1696	CG/001-a	Propio	SI
PLA: Dieldrín µg/L				
PLA: Heptacloro µg/L				Acreditado
PLA: Heptacloro, epóxido µg/L				
PLA: Trifluralina µg/L				
PLA: HCH, alfa µg/L				
PLA: Hexaclorobenceno o HCB µg/L				
PLA: HCH, beta µg/L				
PLA: HCH, gamma o Lindano µg/L				
PLA: HCH, delta µg/L				
PLA: Endosulfán, alfa µg/L				
PLA: Endosulfán, beta µg/L				
PLA: Endosulfán, sulfato µg/L				
PLA: Endrín µg/L				
PLA: Endrín, aldehído µg/L				
PLA: DDD, p,p'				

µg/L				
PLA: DDE, p,p' µg/L				
PLA: DDT, p,p' µg/L				
PLA: Fenclorfos µg/L	1699	CG/002- a	Propi o	
PLA: Clorpirifos µg/L				
PLA: Fenitrothion µg/L				SI
PLA: Paratión, etil µg/L				Acreditad o
PLA: Clorfenvinfos µg/L				
PLA: Tetraclorvinfos o Stirofos µg/L				
PLA: Metidation µg/L				
PLA: Diclorfentión µg/L				
PLA: Bromofos metil µg/L				
PLA: Bromofos etil µg/L				
PLA: Simazina µg/L	1700	CG/003- a	Propi o	
PLA: Atrazina µg/L				SI
PLA: Ametrina µg/L				
PLA: Trietazina µg/L				Acreditad o
PLA: Terbutilazina				

µg/L				
PLA: Terbutrina µg/L				
PLA: Prometrina µg/L				
PLA: Molinato µg/L				
Bromodiclorometano µg/L	2421	CG/007-a	Propio	SI
Bromoformo µg/L				
Cloroformo µg/L				Acreditado
Dibromoclorometano µg/L				
Trihalometanos(TH Ms) µg/L				
PLA: MCPA µg/L	9377	CGM	Propio	SI
				Sin cualificación
PLA: Pendimetalina µg/L	9378	CGM/016	Propio	SI
PLA: CLodinafop propargil µg/L				Sin cualificación
PLA: Oxifluorfen µg/L				
Total plaguicidas µg/L	7716	CG	Propio	SI
				Acreditado
PLA: Diuron µg/L	9374	CL/007	Propio	SI
				Sin cualificación

PLA: Glifosato µg/L	10435	CL/009	Propio	SI Sin cualificaci ón
PLA: Glifosato µg/L	9375	HPLC- MS	Otro	SI Sin cualificaci ón

4. BIBLIOGRAFÍA

- Organización mundial de la salud:
www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/
- Página de química, La Guía: www.quimica.laguia2000.com/general/agua-potable
- Boletín oficial del estado: www.boe.es
- Página oficial de la empresa Linaqua: www.linaqua.es
- Agencia andaluza del agua: www.agenciamedioambienteyagua.es/
- Aguas de Cartagena SA: www.acuacar.com
- Blog Ingeniería en Agua: www.fibrasynormasdecolombia.com
- GSC desastres y obras: www.poceriasinzanja.es
- ACS medio ambiente: <http://www.acsmedioambiente.com/cmembranas.html>
- <https://emontanos.wordpress.com>
- Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano. Ministerio de sanidad, 2009.
- Escuela internacional de ingeniería del agua de Andalucía.
- Rodríguez Vidal, 2003
- Efectos de los trihalometanos sobre la salud. Higiene y Sanidad Ambiental, 8:280-290 (2008).