



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 13 – NOVIEMBRE DE 2008

# “CÁLCULOS PARA EL TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO. DESINFECCIÓN, COAGULACIÓN/FLOCULACIÓN Y ABLANDAMIENTO”

AUTORÍA <b>MARÍA JESÚS MOLINERO LEYVA</b>
TEMÁTICA <b>SALUD AMBIENTAL</b>
ETAPA <b>FORMACIÓN PROFESIONAL</b>

## Resumen

Previo a la distribución del agua apta para el consumo humano hay que realizarle una serie de tratamientos. Se deben calcular las concentraciones de las sustancias a dosificar en cada tratamiento, en este caso se estudian los cálculos para llevar a cabo la desinfección, la coagulación floculación y el ablandamiento.

## Palabras clave

Tratamiento de potabilización, correcta cloración, demanda de cloro, punto de ruptura, cloro residual, desinfección, coagulación/floculación, turbidez, ablandamiento, dureza, prueba del vaso.

## 1. JUSTIFICACIÓN

En el desarrollo del módulo Aguas de uso y consumo, perteneciente al Título de Técnico en Salud Ambiental, se trabajan una serie de competencias relacionadas con los sistemas de abastecimiento y producción de aguas de consumo, en concreto, los alumnos y alumnas que cursen esta formación deberán ser capaces de:

- Describir los sistemas de desinfección y potabilización de aguas.
- Identificar los reactivos utilizados en las estaciones de tratamiento de agua potable, describir su utilidad e identificar la fase del proceso donde son utilizados.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 13 – NOVIEMBRE DE 2008

- Calcular las dosis de reactivos a añadir en los procesos químicos de tratamiento y desinfección de aguas de consumo humano.
- Evaluar el sistema de tratamiento del agua de consumo humano desde una óptica higiénico-sanitaria, describiendo sus posibles deficiencias.
- Vigilar el cumplimiento de la legislación establecida.

De la inexistencia de pautas establecidas para efectuar estas técnicas, adaptadas a la formación profesional de grado superior, nace la necesidad de crear una guía para llevar a cabo los cálculos de los procesos de desinfección, coagulación/floculación y ablandamiento del agua de consumo humano en las diferentes variantes que puedan presentarse.

## 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA

Las sustancias destinadas al tratamiento del agua de consumo humano están recogidas en 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, así como en la Orden SCO/3719/2005, de 21 de noviembre, la cual actualiza las sustancias relacionadas en el Anexo II del citado Real Decreto.

En la parte A del Anexo II encontramos el nombre de cada sustancia, los requisitos de uso, la norma UNE-EN en vigor que debe cumplir y sus principales funciones.

A cualquier sustancia que entre en contacto con el agua, para el tratamiento de la misma o para la desinfección de superficies y equipos, deberá ser sometida a un control analítico adicional; en la mayoría de los casos implica que los niveles de las sustancias estén por debajo de los valores paramétricos establecidos en el Anexo I del Real Decreto 140/2003.

## 3. ESPECIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA A POTABILIZAR

El primer dato que hay que conocer para potabilizar el agua es la cantidad de agua a tratar, este dato puede venir expresado en forma de:

- **Depósito de agua:** m<sup>3</sup> o litros.
- **Caudal:** unidad de volumen de agua/unidad de tiempo. Ejemplo: litros/segundo, l/s.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 13 – NOVIEMBRE DE 2008

- **Demanda de agua:** para una población determinada, litros de agua/habitante/día.  
Se debe multiplicar la demanda de agua por el número de habitantes de la población y ajustar el caudal a la unidad de tiempo requerida.

#### 4. CÁLCULOS EN EL TRATAMIENTO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA

Según el artículo 10 del Real Decreto 140/2003:

*Las aguas de consumo humano distribuidas al consumidor por redes de distribución públicas o privadas, cisternas o depósitos deberán ser desinfectadas. En estos casos, los subproductos derivados de la desinfección deberán tener los niveles más bajos posibles, sin comprometer en ningún momento la eficacia de la desinfección.*

*Cuando no haya riesgo de contaminación o crecimiento microbiano a lo largo de toda la red de distribución hasta el grifo del consumidor, el gestor podrá solicitar a la autoridad sanitaria, la exención de contener desinfectante residual.*

Con la desinfección del agua se pretende que los organismos patógenos de transmisión hídrica queden inactivados.

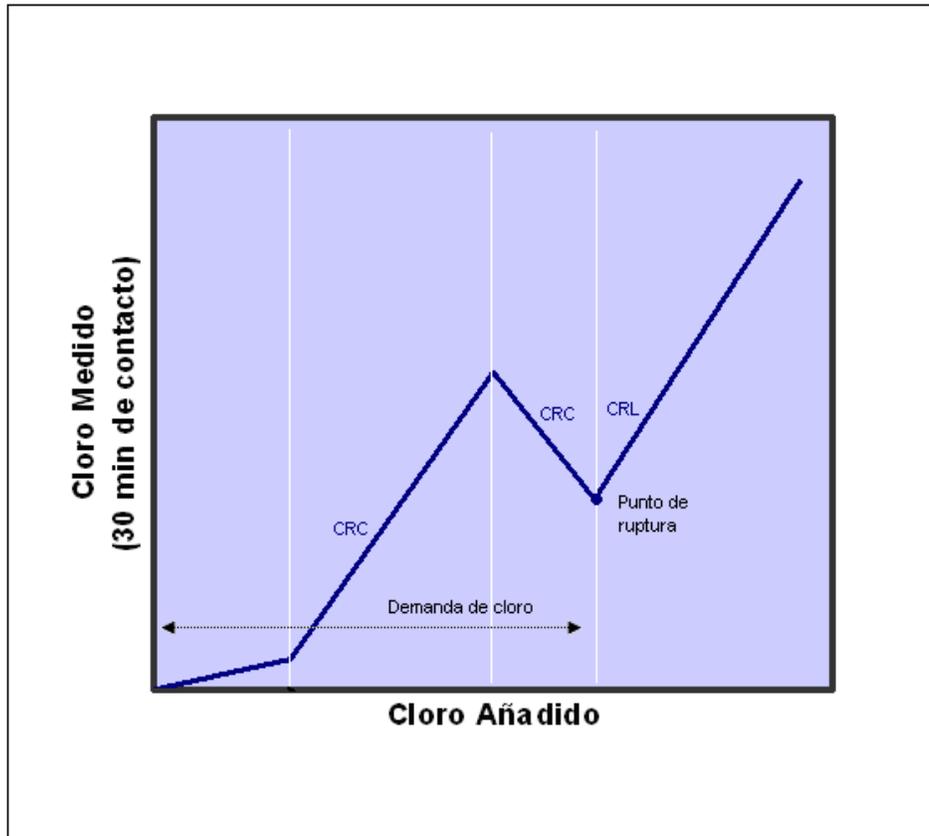
El desinfectante más extendido en el tratamiento del agua apta para consumo humano es el cloro, por lo que los cálculos se van a centrar en este reactivo.

La desinfección por cloro va a estar condicionada por una serie de factores como son el pH del agua, la temperatura, el tiempo de contacto, las características de los organismos que puedan estar presentes, la presencia de fenoles, etc.

##### **Cálculo de la cantidad de cloro a añadir**

Pueden realizarse diversos tipos de cloración, que se realice un tipo u otro va a depender de las características del agua problema.

La demanda de cloro del agua no es siempre constante, hay que tener en cuenta las posibles variaciones para ajustar la dosis de cloro en todo momento. Periódicamente se debe calcular la demanda de cloro.



## A. Cloración ajustada

### A.1. Cloración ajustada conociendo la demanda de cloro del agua problema.

Se adiciona la cantidad de cloro necesaria para realizar una correcta cloración. La concentración de cloro en el agua se mide tras un tiempo de contacto. No se diferencia entre cloro residual libre y cloro residual combinado.

**Correcta cloración = DC + ms**

**DC** = demanda de cloro.

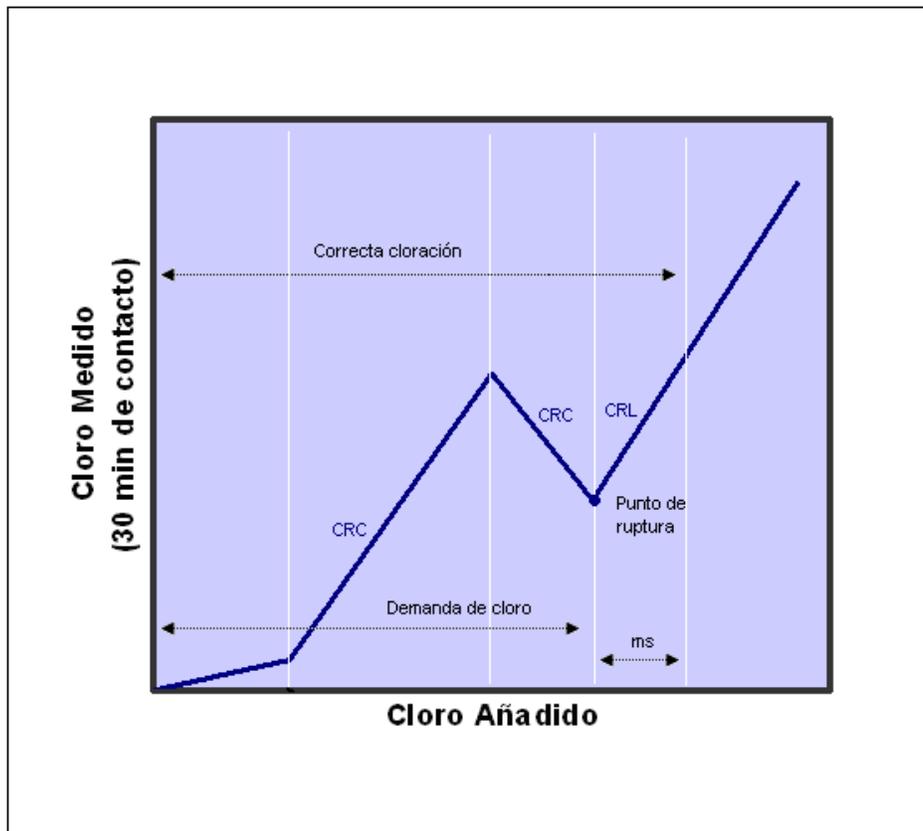
**ms** = margen de seguridad. Es la cantidad necesaria de cloro para que quede en el agua como cloro libre residual tras el tratamiento. La legislación actual establece que este margen de seguridad deberá ser inferior al valor paramétrico del cloro libre residual de 1 mg/l.

En la práctica además de añadir la dosis de cloro necesaria para alcanzar el punto de ruptura, es decir la demanda de cloro, esta dosis se incrementa por dos motivos:

- Prevenir una posterior contaminación en las conducciones de los sistemas de distribución o depósitos de agua.
- Completar la oxidación de ciertos compuestos cuya degradación requiere tiempos elevados.

Si hay gasto de cloro en la red:

**Correcta cloración = DC + ms + gasto de cloro en la red**





ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 13 – NOVIEMBRE DE 2008

## A.2. Cloración ajustada estudiando en laboratorio la demanda de cloro del agua problema

Para estudiar experimentalmente la demanda de cloro de un agua problema se disponen una serie de vasos de precipitado, habitualmente con un litro de agua a tratar cada uno, y se adiciona cantidades crecientes de cloro a los diferentes recipientes. Posteriormente se mide la concentración de cloro residual existente en cada vaso de precipitado.

Hay que tener en cuenta que el cloro residual total va a ser igual a la suma del cloro residual combinado más el cloro residual libre:

$$\text{CRT} = \text{CRC} + \text{CRL}$$

**CRT** = Cloro residual total

**CRC** = Cloro residual combinado

**CRL** = Cloro residual libre

### Pasos a seguir para calcular la demanda de cloro:

- Seleccionar el vaso de precipitado en el cual aparezca cloro residual libre y se haya adicionado la menor cantidad de cloro.
- Calcular la cantidad de cloro que se ha adicionado previamente a ese vaso.
- A la cantidad de cloro añadida al vaso restarle la cantidad de cloro residual libre determinada en el mismo.

**Demanda de cloro = cloro añadido al vaso – cloro sobrante en el vaso**

- Si los datos disponibles están expresados en concentración de cloro residual total, en lugar de en concentración de cloro residual libre, representar gráficamente la cantidad de cloro medido en cada vaso, tras 30 minutos de contacto, frente a la cantidad de cloro añadido a cada vaso.
- Seleccionar el primer vaso en el que el cloro residual total aumenta tras un descenso previo.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 13 – NOVIEMBRE DE 2008

El punto de ruptura, o demanda de cloro del agua, se va a encontrar entre los valores de concentración de cloro del vaso con la mínima cantidad de cloro residual total y el siguiente vaso en el que se produce un ascenso de cloro residual total. En ese intervalo se supone que se ha traspasado el punto de ruptura, que corresponde con el mínimo de la curva representada, a partir de ese punto aparece cloro residual libre en el agua problema.

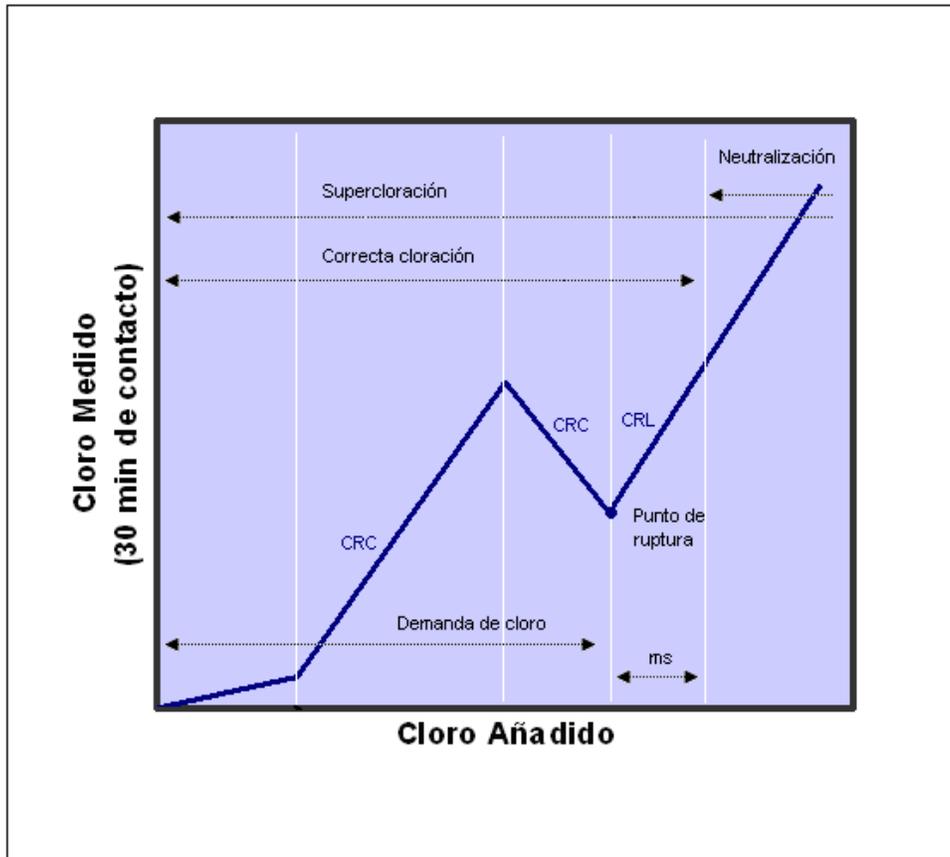
- Calcular la cantidad de cloro adicionado al vaso seleccionado anteriormente.
- Restar el cloro sobrante determinado en el vaso. Este dato se considera equivalente a la demanda de cloro.

## B. Supercloración

La dosis de cloro activo adicionada es superior a la demanda de cloro del agua. Transcurrido el tiempo de contacto necesario para que la materia reducida del agua se oxide, el exceso de cloro se neutraliza.

**Correcta cloración = cloro añadido para realizar la supercloración – cloro sobrante**

**Cloro sobrante = Cloro añadido – (DC + ms)**



- Calcular la cantidad de cloro utilizada para realizar la supercloración.
- Establecer la cantidad de cloro sobrante que se va a neutralizar.
- Calcular la cantidad de reactivo necesaria para neutralizar el cloro sobrante.

Para la neutralización del exceso de cloro se puede utilizar tiosulfato sódico, disulfito sódico, etc. (ejemplo: neutralizar 1 parte de cloro con 0,7 partes de tiosulfato sódico)

## 5. CÁLCULOS EN LA COAGULACIÓN / FLOCULACIÓN DEL AGUA

La turbidez del agua es causada por partículas en suspensión, la coagulación/floculación elimina estas partículas a través de procesos físicos y químicos.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 13 – NOVIEMBRE DE 2008

Si la turbidez del agua problema supera los siguientes valores paramétricos establecido por el Real Decreto 140/2003 será necesario realizar el tratamiento de coagulación/floculación:

A la salida de ETAP y/o depósito	1 UNF
En red de distribución	5 UNF

En el desarrollo de la coagulación/floculación influyen diversos factores, la compatibilidad química con las partículas coloidales, el pH de agua, la temperatura, las especies iónicas del agua, etc. De todos ellos destaca el pH, por lo que es un parámetro que hay que controlar.

Los coagulantes/floculantes más empleados en la actualidad son las sales de hierro y aluminio, siendo el más extendido el sulfato de aluminio.

**Prueba del vaso para la coagulación floculación.**

Para establecer la dosis adecuada de coagulante/floculante se realizan una serie de ensayos, ya que intervienen multitud de variables que impiden establecer valores fijos.

- Si se ha realizado la prueba del vaso seleccionar el vaso en el que se obtenga una disminución de la turbidez adecuada, con un color y pH del agua problema dentro de los límites paramétricos que establece la normativa vigente.

<b>Color</b>	15 mg/l Pt/Co
<b>pH:</b>	
Valor paramétrico mínimo	6,5 Unidades de pH
Valor paramétrico máximo	9,5 Unidades de pH

- Calcular la cantidad de agente coagulante-floculante añadido a ese vaso.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 13 – NOVIEMBRE DE 2008

## 6. CÁLCULOS EN EL ABLANDAMIENTO DEL AGUA

Con el ablandamiento se reduce la dureza del agua, afectando a las concentraciones de calcio y magnesio. La dureza del agua no tiene gran importancia a nivel sanitario, a pesar de esto el ablandamiento es un tratamiento que se realiza con frecuencia por las implicaciones económicas y el rechazo que produce un agua de dureza elevada en los consumidores.

En la legislación actual no se determinan los valores paramétricos de calcio ni de magnesio. Si se considera que es necesario realizar un tratamiento de ablandamiento se pueden coger como referencia los valores recogidos en la legislación anterior, Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público.

	Concentración Máxima Admisible	Nivel Guía
<b>Calcio</b>	200 mg/l	100 mg/l
<b>Magnesio</b>	50 mg/l	30 mg/l

Previo a realizar al ablandamiento de un agua es imprescindible conocer la dureza de la misma y los parámetros relacionados con el tratamiento (pH, conductividad, etc.)

$$\text{Dureza total (mg/l CO}_3\text{Ca)} = 2,5 \times C_{\text{Ca}} + 4,1 \times C_{\text{Mg}}$$

$$\text{Dureza total (°H)} = [ 2,5 \times C_{\text{Ca}} + 4,1 \times C_{\text{Mg}} ] / 10$$

**Dureza total** = conjunto de sales cálcicas y magnésicas existentes en el agua

$C_{\text{Ca}}$  = concentración de calcio en mg/l

C/ Recogidas N° 45 - 6ªA 18005 Granada [csifrevistad@gmail.com](mailto:csifrevistad@gmail.com)



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 13 – NOVIEMBRE DE 2008

$C_{Mg}$  = concentración de magnesio en mg/l

$^{\circ}H$  = grados hidrotimétricos o grados franceses.

Conociendo dos de los tres parámetros (concentración de calcio, magnesio o dureza total) podemos deducir el tercer parámetro.

### Cálculo teórico para el ablandamiento

Con esta técnica podemos conocer la demanda de reactivos con un pequeño error. Omitimos el contenido en  $CO_2$  del agua y consideramos que toda la dureza del agua está formada por bicarbonatos.

De la siguiente reacción deducimos la cantidad de sustancia necesaria para realizar el ablandamiento. En este caso vamos a utilizar el hidróxido de calcio.

$$CHc = 1,85 \times [ C_A ] + 6,1 \times [ C_M ]$$

$CHc$  = hidróxido de calcio necesario para el ablandamiento mg Ca  $(OH)_2/l$

$C_A$  = concentración de calcio a eliminar expresada en mg/l

$C_M$  = concentración de magnesio a eliminar expresada en mg/l

### Cálculos para la prueba del vaso

- Si se ha realizado la prueba del vaso seleccionar el vaso de precipitado en el que se obtienen las concentraciones de calcio y magnesio más adecuadas según el nivel de dureza que queramos obtener en el agua, y con el menor gasto de reactivos.
- Establecer a que concentraciones vamos a bajar los parámetros de calcio y magnesio.
- Calcular la cantidad de calcio y magnesio a eliminar.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 13 – NOVIEMBRE DE 2008

- Aplicar la fórmula del cálculo simplificado para el ablandamiento con cal para determinar la concentración de hidróxido cálcico que tenemos que añadir al agua problema.

## 7. CONSIDERACIONES GENERALES

- Para determinar la cantidad de reactivos a añadir al agua problema hay que multiplicar la cantidad de agua a tratar existente en el depósito o el caudal de agua, por el valor teórico obtenido en las diferentes pruebas realizadas en el laboratorio por unidad de volumen.
- Si la bomba dosificadora de reactivos es regulable lo aconsejable es ajustarla a un caudal intermedio, con el objeto de poder realizar correcciones posteriores en los tratamientos si fuese necesario.
- Para realizar la prueba del vaso se deben añadir conjuntamente todos los reactivos que vayan a intervenir en los diferentes tratamientos, ya que la efectividad de unos se ve influenciada por los demás.
- En los ensayos experimentales se debe reproducir la velocidad de agitación y otras características del tratamiento en la ETAP, (Estación de Tratamiento de Agua Potable) para que los resultados sean lo más reales posible.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Pérez López, J.A. y Espigares García, M. (1999). *Estudio Sanitario del agua*. Granada: Universidad de Granada.
- Rodier, J. (1998). *Análisis de las aguas: agua naturales, aguas residuales, aguas de mar*. Barcelona: Omega.
- *Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre*, por el que se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público. (BOE n. 226 de 20/9/1990)
- *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 n. 45 de 21/2/2003).
- Orden SCO/3719/2005, de 21 de noviembre, sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano. (BOE n. 287 de 1/12/2005).



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – NOVIEMBRE DE 2008

Autoría

---

- Nombre y Apellidos: María Jesús Molinero Leyva
- Centro, localidad, provincia: I.E.S. La Zafra, Motril, Granada
- E-mail: mariajesusml@hotmail.com