

ISSN: 1988-2688

<http://www.ucm.es/BUCM/revistasBUC/portal/modulos.php?name=Revistas2&id=RCCV&col=1>

http://dx.doi.org/10.5209/rev_RCCV.2016.v10.n1.52275



Revista Complutense de Ciencias Veterinarias 2016 10(1):53-74

**TRATAMIENTO DE EFLUENTES CONTAMINADOS CON PRIONES.
DISEÑO DE UN REACTOR QUÍMICO**

**TREATMENT OF EFFLUENTS CONTAMINATED WITH PRIONS.
CHEMICAL REACTOR DESIGN**

Gonzalo Pascual Álvarez, G.

Servicio de Seguridad Biológica del Centro de Investigación en Sanidad Animal,
INIA.

Correspondencia: gpascual@inia.es

RESUMEN

El control e inactivación de priones que pueden estar presentes en los efluentes, resulta ser un mecanismo complicado dentro de una Instalación de Alta Contención Biológica. Existen dos alternativas para llevar a cabo esta inactivación: la Instalación de sistemas de tratamiento térmico de efluentes que garanticen alcanzar una temperatura mínima de 134°C en meseta de esterilización durante un tiempo de residencia de 18 minutos, y el uso de reactores químicos basados en la adición de hipoclorito sódico de forma que la mezcla mantenga un 2% de cloro libre durante el periodo de reacción. El presente estudio, expone el diseño con sus fases, elementos y sus ventajas, de un reactor químico que permita el tratamiento de efluentes priónicos con el fin de que sirva de modelo a instalaciones biocontenidas que dispongan de áreas de experimentación animal y que pretendan desarrollar sus trabajos con priones.

Palabras clave: Prion, Reactor Químico, Efluente, Hipoclorito de sodio, Bisulfito sódico.

ABSTRACT

The control and elimination of prionic infective agents that may be present in the effluents, turns out to be a complicated mechanism inside a High Containment biological Facility. There are two ways to carry out this neutralization: Installation of thermal systems to ensure achieve a minimum temperature of 134 ° C sterilization plateau for a residence time of 18 minutes, and the use of chemical reactors based on the addition of sodium hypochlorite so the mixture maintained 2% of free chlorine during the reaction period. This study presents the design phases, elements and benefits, of a chemical reactor that allows the treatment of prion effluents in order to serve as a model to biocontainment facilities with areas of animal experimentation, who want to develop their work with prions.

Key words: Prion, Chemical Reactor, effluent, sodium hypochlorite, sodium bisulfite.

INTRODUCCIÓN

Fases del sistema de tratamiento químico

El reactor químico a diseñar, debe contemplar las siguientes fases (Figura 1):

- **Entrada de efluente.** El reactor recibirá la carga de efluente. El efluente consta de una cantidad de materia orgánica disuelta en una cantidad de agua.
- **Adición de NaClO (Hipoclorito sódico) al reactor.** Encargado de la destrucción del prion. Al final del periodo de tratamiento, existirá un exceso de cloro de 2% con respecto a la mezcla orgánica inicial.
- **Periodo de destrucción biológica.** Durante doce horas en agitación para acelerar la cinética de la reacción y para asegurar una adecuada mezcla de los reactivos.
- **Adición de NaHSO₃ (Bisulfito sódico) al reactor.** El cloro en exceso (2%), se elimina con la adición de bisulfito sódico.
- **Periodo de neutralización del cloro.** Reacción muy lenta. Se necesitan tres horas en agitación para acelerar la cinética de la reacción y para asegurar una adecuada mezcla de los reactivos.
- **Evacuación de la mezcla final.**

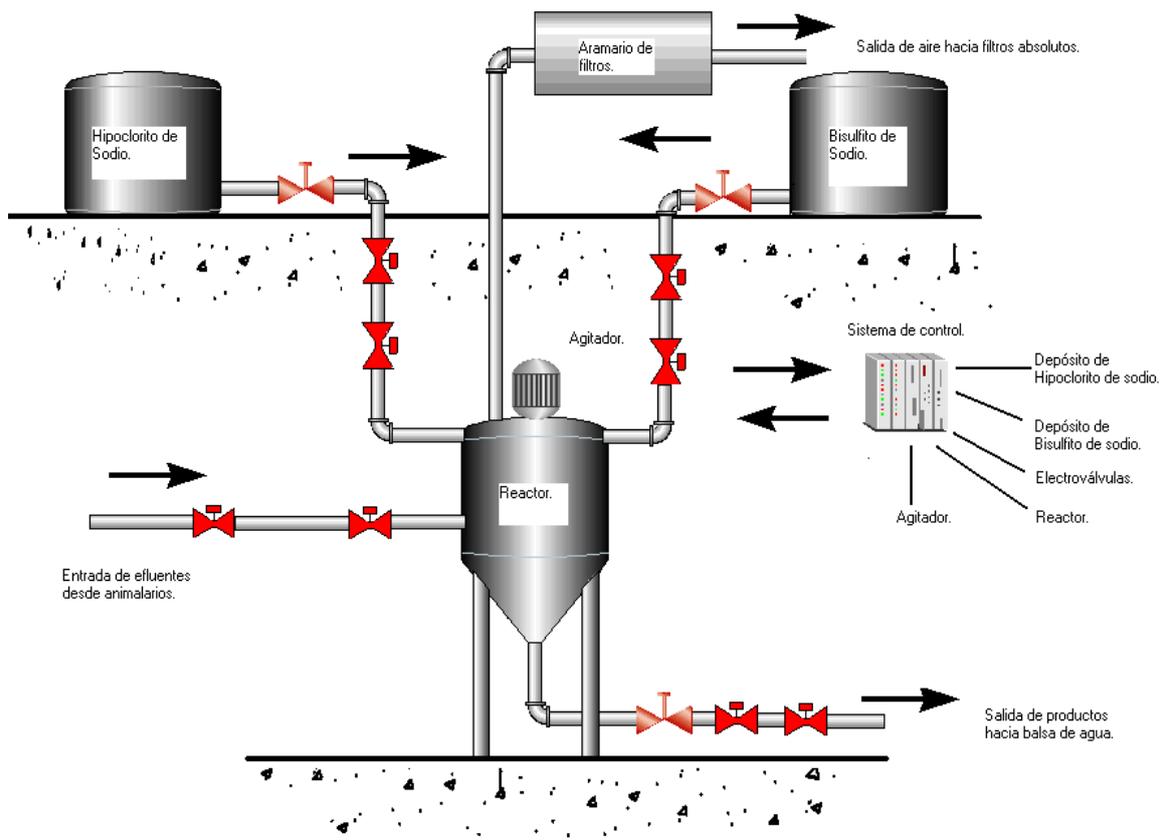


Figura 1: Esquema de conjunto

Proceso químico

Un proceso químico es un conjunto de operaciones químicas y/o físicas ordenadas a la transformación de unas materias iniciales en productos finales diferentes. Cada una de estas operaciones es una operación unitaria dentro del proceso global. Este cambio puede realizarse según tres caminos diferentes:

- Modificando su masa o composición (separación de fases, mezcla, reacción química).
- Modificando el nivel o calidad de la energía que posee (enfriamiento, aumento de presión, etc.).
- Modificando sus condiciones de movimiento (aumentando o disminuyendo su velocidad o su dirección).

Los tres cambios mencionados, son los únicos cambios posibles que un cuerpo puede experimentar. Un cuerpo está absolutamente definido cuando están especificadas:

- Cantidad de materia y composición.
- Energía total (interna, eléctrica, magnética, potencial, cinética).

- Las componentes de velocidad de que está animado.
- Este hecho experimental tiene su expresión matemática en tres leyes de conservación:
- Ley de conservación de la materia.
- Ley de conservación de la energía.
- Ley de conservación de la cantidad de movimiento.

La reacción química es la operación unitaria que tiene por objeto distribuir de forma distinta los átomos de unas moléculas (compuestos reaccionantes o reactantes) para formar otras nuevas (productos).

En Ingeniería de las Reacciones Químicas el esquema más útil para clasificar las reacciones químicas es el que resulta de dividir las, de acuerdo con el número y tipo de fases implicadas, en dos grandes grupos: sistemas homogéneos y heterogéneos.

Una reacción es homogénea si se efectúa sólo en una fase, y es heterogénea si, al menos, se requiere la presencia de dos fases para que transcurra a la velocidad que lo hace. Superpuestas a estos dos tipos de reacciones tenemos las catalíticas, cuya velocidad está alterada por la presencia en la mezcla reaccionante, de materiales que no son reactantes ni productos. Estos materiales, denominados catalizadores actúan como mediadores retardando o acelerando la reacción.

A todo cambio químico acompaña un calor de reacción cuyo valor tiene con frecuencia una influencia muy importante sobre el diseño del reactor.

En una reacción fuertemente exotérmica, se producirá un aumento considerable de la temperatura de la mezcla de reacción, a menos que se realicen las previsiones necesarias para que el calor se transfiera a medida que tiene lugar la reacción. Por tanto, es importante tratar de establecer con claridad la relación que existe entre entalpía de reacción, calor transmitido y variación de temperatura en la mezcla de reacción; ésta se puede expresar cuantitativamente mediante un balance entálpico. Si la temperatura de la mezcla de reacción permanece constante (operación isotérmica), el calor equivalente al calor de reacción ha de ser transferido desde o hacia el reactor. Si el calor no se transfiere (operación adiabática), la temperatura de la mezcla de reacción aumentará o disminuirá a medida que tiene lugar la reacción.

En el diseño de un reactor, por consiguiente, dos cuestiones muy importantes que hay que plantearse son:

- ¿Cuál es el calor de reacción?
- ¿Cuál es el intervalo aceptable en el que puede permitirse que varíe la temperatura?

En la práctica, siempre que es posible se prefiere la operación adiabática por su simplicidad de diseño. Si el reactor no opera adiabáticamente se ha de incluir en su diseño la transmisión de calor.

MATERIAL Y MÉTODO

Reactor químico

Los reactores químicos pueden dividirse en dos categorías principales, homogéneos y heterogéneos.

En los reactores homogéneos existe solamente una fase generalmente un gas o un líquido; si interviene más de un reaccionante ha de conseguirse una mezcla de los mismos para conseguir un todo homogéneo.

En los reactores heterogéneos están presentes dos, o incluso tres, fases. Son ejemplos los sistemas gas-líquido, gas-sólido, líquido-sólido y líquido- líquido.

Es importante destacar que en un reactor heterogéneo la reacción química puede ser verdaderamente heterogénea, pero no es necesario que esto suceda. En un reactor catalítico gas-sólido la reacción tiene lugar sobre la superficie del sólido y es, por consiguiente, heterogénea; sin embargo, el burbujeo de un gas a través de un líquido puede servir para disolver el gas en el líquido, en el que reacciona de forma homogénea; la reacción es por lo tanto homogénea, pero el reactor es heterogéneo por cuanto es necesario realizar el contacto entre dos fases gas y líquido.

Otro tipo de clasificación que permite subdividir a los reactores homogéneos y heterogéneos es el modo de operación: discontinuo, continuo o semi-continuo.

En operación discontinua, los reaccionantes son cargados al principio de la reacción y los productos son retirados sólo cuando se ha alcanzado el final de la reacción.

En operación continua, la presencia de un agitador permite dispersar de forma completa los reaccionantes en la mezcla de reacción, tan pronto como entran en el tanque. La corriente de producto sale de forma continua, y en el caso ideal de mezcla perfecta, tendrá la misma composición que el contenido del tanque.

En operación semicontinuo, el recipiente de reacción es esencialmente igual a un reactor discontinuo, y al comienzo de la operación se carga con uno de los reaccionantes. El segundo reaccionante, sin embargo, no se añade al mismo tiempo sino de forma continua a lo largo del período de reacción y su concentración es baja en todo el curso de la reacción.

Teniendo en consideración las premisas expuestas, el diseño del reactor seguirá los siguientes criterios:

- La estructura del depósito tendrá la geometría clásica de un reactor que opere de manera discontinua en atención al *modus operandi* de la descontaminación, la cinética, una operación a pequeña escala y la secuencia ordenada de operaciones obligatorias a realizar.
- Habida cuenta de las diferentes sustancias que entraran en contacto en el interior del reactor, su diseño y construcción se realizarán con vistas a la posibilidad de albergar reacciones heterogéneas.
- El material a emplear será compatible con las sustancias a albergar y las condiciones de reacción. Se empleará para la construcción GRP (Glass fibre Reinforced Polyester) con resina Bisfenólica ATLAC 382A como barrera química y con resina ortoftálica con rovings de vidrio como refuerzo metálico.
- El volumen útil del reactor será de 3.000 litros.
- Se contará con soportes para la instalación final y con orejas de elevación para el transporte.
- El reactor tendrá forma cónica en su parte inferior. La forma cónica en la zona inferior facilita la salida de los productos finales y evita la deposición de restos en el interior del depósito.
- La superficie interior será recubierta por una sustancia antiadherente. Se persigue con esto evitar la formación de posibles biofilms.
- Existirá una boca de hombre para inspecciones de mantenimiento.

- Se dispondrá de al menos una entrada para carga de efluentes, otra para entrada del hipoclorito de sodio y otra para el bisulfito de sodio.
- Se contará de una salida para la aireación.
- El reactor contará con una salida para descarga de productos finales.
- Se dispondrá de una entrada que permita la conexión del agitador. El agitador permitirá favorecer la mezcla y con esto la cinética de la reacción.
- Se dispondrá de una tapa de acero inoxidable que permita el montaje sobre el reactor del agitador necesario para la consecución de la reacción.

Sistema de agitación

Las reacciones químicas necesarias para el tratamiento de los efluentes presentan dos características fundamentales que determinan el diseño y dimensión de los equipos que permitan su consecución: una cinética extremadamente lenta y la necesidad de gran cantidad de reactivos.

La primera exige la concepción de un sistema que permita de algún modo la aceleración de las reacciones químicas que tienen lugar durante el proceso químico. Por la naturaleza de los reaccionantes y las condiciones biológicas de las reacciones, queda descartada la opción del uso de catalizadores químicos. Asimismo, el uso de la aportación de calor no resulta rentable por el pequeño acortamiento de tiempo que producen en el proceso total de reacción (no siempre asociado al proceso químico en sí) y el considerable desembolso económico necesario.

Una tercera vía de acción es la concepción de un medio mecánico que acelere los procesos químicos. Este sistema mecánico no es otro que un agitador.

El agitador se colocará físicamente sobre el reactor aprovechando la entrada habilitada al efecto y contará con:

- **Accionador.** Su objetivo es la creación del movimiento necesario para que la agitación tenga lugar. Sin duda, el mejor en cuanto a flexibilidad, precio y facilidad de instalación es el motor eléctrico **asíncrono trifásico**, ya que presenta un volumen pequeño, alto rendimiento eléctrico y factor de potencia, arranque sencillo y posibilidad de control de velocidad con sistemas electrónicos.

La tensión de alimentación será de 380 V y el motor eléctrico presentará un grado de protección mínimo de nivel IP-55.

- **Mecanismo transformador del movimiento aportado por el accionador.** Su misión es la de transformar convenientemente el movimiento aportado por el accionador con el fin de que sea compatible con el sistema global de inactivación.
- Con el fin de que la velocidad de rotación no sea perjudicial para el conjunto total debido a las vibraciones que habría de soportar la estructura y que el momento proporcionado por un motor accionado eléctricamente es muy reducido producto de una elevada velocidad de giro, se hace necesario el empleo de un reductor de velocidad de tipo coaxial basado en ruedas dentadas. El reductor, además permite un aumento del par motriz que accionará el eje de agitación y la conservación casi íntegra de la potencia generada por el motor.

Proporcionará a su salida una velocidad de giro comprendida entre las 75 y 200 rpm.

- **Elemento de cierre.** Se realizará mediante el empleo de una linterna que permitirá la conversión del reactor en un recinto estanco y al ser el único elemento de contacto entre el reactor y el conjunto agitador, se ve obligado a cargar el peso de toda la estructura del conjunto agitador (eje, turbina, motor eléctrico, reductor mecánico y linterna) por lo que constituirá el soporte físico de la estructura de agitación.

Presentará fabricación en acero al carbono revestido con ebonita en las zonas de eventual contacto con las sustancias químicas intervinientes en la esterilización.

- **Órgano de agitación.** Su misión será la de transmitir a la mezcla la energía aportada por el elemento accionador. Estará compuesto por una turbina sólidamente montada sobre un eje conectado a la salida del reductor. De esta forma mediante el eje portador, la turbina agita la mezcla.

El material de construcción base será el acero al carbono convencional empleado en la fabricación de agitadores comerciales y el acero del eje estará revestido de ebonita en toda la longitud destinada a estar ubicada dentro del tanque reactor.

La selección de la turbina a montar en el sistema de agitación se realizará teniendo en cuenta la geometría de palas inclinadas, caudal mínimo de 100 m³/h, material base será el acero al carbono revestido de ebonita y tendrá unas dimensiones que permita su introducción en el depósito reactor.

Soporte de la estructura

La construcción de la estructura de soporte se realizará en acero no aleado. La norma UNE EN 10025 designa los aceros mediante las letras S o E, seguidas de una cifra que es el límite elástico del mismo en N/mm². Se utilizará acero S 275 JR. La construcción del sistema de soporte se realizará mediante el empleo de perfiles laminados en caliente (apartado 2.1.6 de NBE EA 95 y Normas UNE).

Sistema de filtrado

El mecanismo de filtrado comprende la selección de los filtros necesarios para asegurar una salida de gases limpios y el diseño de un armario para albergar los elementos filtrantes en condiciones idóneas para su trabajo y conservación. Se realizará mediante la instalación de filtros HEPA de grado H14 en la escala EUROVENT. El filtrado de las partículas de cloro se realizará mediante un filtro de carbón activado.

Sistema de control

Posibilitará la automatización de la esterilización y dispondrá de una lógica de control programada para el sistema de medida y toma de datos y utilizará el dominio digital.

Sistemas de medida y toma de datos

Se define como sistema de medida a aquél cuya función es la asignación objetiva y empírica de un número a una propiedad o cualidad de un objeto o evento, de tal forma que lo describa. Los objetivos de la medida no tienen que ser exclusivos de control, aunque son los más habituales.

Un sensor es un dispositivo capaz de proporcionar una información legible sobre una variable física de un sistema.

Un transductor es un dispositivo, que sin dejar de proporcionar una información legible sobre una variable física de un sistema, recibe una señal de una naturaleza y genera una señal de salida de otra naturaleza distinta. Es, por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro.

Arquitectura de control

Los subsistemas que conformarán la arquitectura de control serán:

- **Autómata programable (PLC).**

Se programará un software que haga posible los funcionamientos en modo manual y en modo automático.

Se tendrá en cuenta una posible escalabilidad futura del sistema de esterilización. Por este motivo, se seleccionará un autómata programable de estructura modular.

- **Transductores de presencia de tipo capacitivo y electrónica asociada.**

Se contará con una pareja de sensores (redundancia) ubicados en el depósito de hipoclorito de sodio que alerten de la imposibilidad de realizar un ciclo de esterilización por falta de líquido y una pareja de sensores en el depósito de bisulfito de sodio que alerten de la imposibilidad de realizar un ciclo de esterilización por defecto de reactivo.

- Se dispondrá de un sensor de aviso de recarga para el tanque de hipoclorito de sodio. Su misión será la de advertir a los usuarios de la necesidad de recarga de la sustancia en breve plazo.
- Se contará con un sensor de aviso de recarga para el tanque de bisulfito de sodio.
- Se instalará un sensor que alerte de sobrecarga en caso de fallo en el llenado del tanque-reactor. Estará colocado en el exterior del mismo con el fin de evitar la sustitución del sensor colocado en el interior del tanque-reactor en caso de avería, el peligro potencial para el operario, reducir costes de mantenimiento y permitir mayor rapidez en los procesos de mantenimiento.

Sistema de pesaje

Para el control automático del llenado y la evacuación del tanque-reactor se utilizarán tres células de carga y un controlador de peso compatible con el autómatas programable.

Una reacción química se realiza equivalente a equivalente y la relación entre éste y el peso es directa y constante independientemente de las condiciones circundantes. Un control en función del peso es infinitamente más preciso que un control en función del volumen ya que el volumen de una sustancia varía con la presión y/o la temperatura, y por otro lado, en una reacción química los volúmenes no son aditivos. Si además, se tienen en cuenta las necesidades de mantenimiento y reparación, se hace necesaria una tecnología de control que se ajusta perfectamente a la ofrecida por el control por pesaje.

Los elementos del sistema de pesaje presentarán:

- Las células de carga habrán de soportar cargas de como mínimo 2.000 kg de peso.
- Las células de carga contarán con un sistema de protección que asegure un grado de protección de IP 66 como mínimo.
- Compatibilidad entre controlador de peso y las células de carga seleccionadas.
- El controlador de peso será compatible, en cuanto a comunicación se refiere, con el autómatas programable seleccionado para centralizar el control del sistema de

esterilización. El controlador de peso contará con un display de peso y será programable por el usuario.

- Existirá interfaz serie de comunicaciones en el controlador de peso para posibilitar conexión con una impresora exterior.

El sistema de control contará con un sistema de comunicación con el usuario permitiendo conocer en todo momento el estado del sistema de esterilización, gestionar los posibles errores que ocurran durante el funcionamiento y una operación en modo automático.

Elementos de conexión

Se realizará mediante tuberías de PVC 32 x 3,6 UNE 53112 2,5.

Las válvulas de paso a instalar, serán manuales (DN 25) y válvulas actuadoras eléctricas o electroválvulas (DN 25). Para dotar de seguridad a la red de distribución, se le dotará de un par de válvulas manuales y un par de electroválvulas.

Por seguridad, una de las válvulas manuales se colocará inmediatamente después de la salida del tanque de hipoclorito de sodio. Su misión será la de cortar el paso de hipoclorito de sodio en caso de que no sea eficaz la actuación sobre las electroválvulas y sobre la otra válvula manual. La segunda válvula manual se colocará tan cerca como sea posible de la entrada del depósito reactor. Esta válvula, también concebida como elemento de seguridad, permitirá la administración del hipoclorito en caso de fallo de las electroválvulas.

Se colocará una pareja de electroválvulas seriadas para disminuir el riesgo de fallo del sistema de control. Es importante destacar que habrán de colocarse tan cercanas como sea posible a la entrada del reactor.

Para la conexión entre reactor y tanque de bisulfito de sodio, se instalarán tuberías de PVC 32x3,6 UNE 53112 2,5, 2 electroválvulas DN 25 seriadas y 2 válvulas manuales DN 25.

Para la conexión de salida de aire del tanque-reactor, se realizará mediante tubería de PVC 110x5,3 UNE 53112 0,1 para el transporte de aire desde el reactor hasta el armario de filtros y tubería de PVC 110x5,3 UNE 53112 0,1 para la canalización del aire depurado hacia la red general de conducción de aire.

Para la conexión entre reactor y red general de efluentes, se colocarán a la salida del reactor dos electroválvulas seriadas DN 50. Su maniobra se realizará según el algoritmo de control implementado y con su paridad se pretende mejorar la tolerancia a fallos del sistema. Además, y en prevención de posibles fallos, las electroválvulas se conectarán en serie con una válvula manual DN 50.

Se utilizará además, tubería de PVC 63 x 4,7 UNE 53112 1,6. Para la conexión entre reactor y animalarios, se hace necesaria la conducción de los efluentes y la materia orgánica genera por lo que se empleará tubería de PVC 110 x 5,3 UNE 53112 2,5 y 2 electroválvulas DN 100 seriadas.

RESULTADOS

Cálculos del proceso de inactivación

Para determinar las cantidades de hipoclorito de sodio necesarias para garantizar la idoneidad del proceso, se parte de 50 tomas de muestras realizadas en tiempo real en el Centro de Investigación en Sanidad Animal (CISA) ubicado en la localidad de Valdeolmos (Madrid/España).

Durante los muestreos, se determinó que en el peor de los casos se recolectaban 5 kg de materia orgánica (residuos procedentes de animales recluidos en boxes del animalario) en 1.800 litros de agua.

Todos los resultados obtenidos concluyeron que la cantidad necesaria de cloro para reaccionar con la materia orgánica era de 1,33 kg. Por tanto, se parte de que el tratamiento adecuado de 5 kg de residuos orgánicos disueltos en 1.800 litros requiere 1,33 kg de cloro.

La cantidad de cloro activo necesario para conseguir un 2% de cloro libre:

$$C = 0,02 \times 1.800 = 36 \text{ kg}$$

De esta forma la cantidad de cloro T total que debe ser adicionado será:

$$T = C + 1,33 \text{ kg} = 1,33 \text{ kg} + 36 \text{ kg} = 37,33 \text{ kg}$$

El hipoclorito comercial que se utiliza para la descontaminación tiene 123,9 g/kg de cloro activo. En consecuencia la cantidad de este producto a añadir es:

$$H = 37,33/0,1239 = 301,29 \text{ kg}$$

La cantidad de hipoclorito de sodio que será empleado para la cloración será: $F_{\text{NaClO}} = 302 \text{ kg}$.

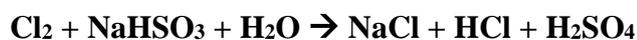
Se pueden obtener las cantidades de hipoclorito sódico para una amplia gama de volúmenes de agua (tabla 1).

Materia Orgánica (kg)	Agua dulce (l)	NaClO (kg)
5	1800	302
4,75	1710	287
4,5	1620	272
4,25	1530	257
4	1440	242
3,75	1350	227
3,5	1260	212
3,25	1170	197
3	1080	182
2,75	990	167
2,5	900	151
2,25	810	136
2	720	121
1,75	630	106
1,5	540	91
1,25	450	76
1	360	61
0,75	270	46
0,5	180	31

Tabla 1

Cálculos del proceso de anti-cloración

La anti-cloración tiene por objeto eliminar el cloro procedente de la etapa de esterilización. Durante la anti-cloración, la reacción química principal que tiene lugar es la siguiente:



La reacción elimina de forma completa el Cl_2 pues es el proceso irreversible.

En el caso límite de que se tengan que eliminar los 36 kg de Cl_2 disueltos procedentes de la esterilización de 1.800 litros de efluentes, es necesario estudiar la estequiometría de la reacción.

Para neutralizar 36 kg de Cl_2 se hace precisa la participación de una cantidad R de bisulfito sódico. R se calcula teniendo en cuenta que 36 kg de Cl_2 son 0.51 kmol de dicha sustancia. Observando la ecuación química se puede observar que la reacción transcurre en una

proporción de 1:1 (en moles) entre el Cl_2 y el NaHSO_3 , por lo que se necesitarán 0.51 kmol de la sal ácida. De este modo, la cantidad de NaHSO_3 es: **$R = 0,51 \times 104,06 = 53,07 \text{ kg}$** .

El NaHSO_3 comercial tiene una riqueza del 30%, por lo tanto la cantidad de bisulfito sódico necesario será 176,9 kg de NaHSO_3 . La cantidad de bisulfito de sodio que será empleado para la anticloración será: **$F_{\text{NaHSO}_3} = 177 \text{ kg}$** .

Se pueden obtener cantidades de la sal sódica para una amplia gama de volúmenes (Tabla 2).

Materia Orgánica (kg)	Agua dulce (l)	NaHSO_3 (kg)
5	1800	177
4,75	1710	168,5
4,5	1620	159,5
4,25	1530	150,5
4	1440	141,5
3,75	1350	133
3,5	1260	124
3,25	1170	115
3	1080	106,5
2,75	990	97,5
2,5	900	88,5
2,25	810	80
2	720	71
1,75	630	62
1,5	540	54
1,25	450	44,5
1	360	35,5
0,75	270	27
0,5	180	18

Tabla 2

Para el correcto dimensionado del reactor químico que albergará la reacción de anticloración, es necesario conocer dos parámetros relacionados y de relevante interés: la temperatura a la que se desarrollará la reacción y el calor generado. La reacción se desarrolla en torno a los 25 °C (temperatura que existe en el lugar de implantación). Mediante el calor desprendido se podrá calcular de forma aproximada el incremento de temperatura de la mezcla. Se verá de este modo que es correcto el uso de datos tabulados que se presentan a continuación.

Para calcular el calor desprendido en la reacción química se hará uso de la Ley de Hess para los calores de reacción. Para utilizar dicha ley hay que poner en juego los calores de formación (tabulados) de las sustancias reactivas y de los productos (Tabla 3)

Sustancia activa	Calor de formación (kJ/mol) a 25 °C-80°C a 1 atm
Cl ₂	0
NaHSO ₃	-864,99
H ₂ O	-285,8
NaCl	-412,1
HCl	-814,0
H ₂ SO ₄	-92,3

Tabla 3

Aplicando la ley de Hess, se llega al resultado de que el calor de reacción molar es el siguiente: $\Delta H = -92,3 - 814,0 - 412,1 + 285,8 + 864,99 + 0 = -167,51 \text{ kJ/mol.} = -40,07 \text{ kcal/mol.}$

La reacción objeto de estudio presenta una molaridad de 0,51 kmol. Por tanto, la energía calorífica desprendida es: $Q = (40,07 \text{ kcal/mol}) \cdot (0,51 \text{ kmol}) = 20.435,7 \text{ kcal.}$

Como se puede comprobar, la reacción es muy ligeramente exotérmica, lo cual es un síntoma claro de que la reacción se desarrollará en un intervalo de temperatura muy cercano a los 25 °C de partida.

No obstante, para justificar numéricamente el pequeño salto de temperatura de la reacción se puede mayorar el incremento térmico haciendo uso de un modelo de agua, esto es, suponiendo (a efectos de los cálculos) condiciones adiabáticas y una masa de agua pura de 1.800 kg.

Hay que mencionar que estas dos condiciones son muy conservadoras; por un lado, el reactor puede proveer de refrigeración y por otra parte la mezcla real tiene mucha más inercia térmica (hay en torno a 2.200 kg de mezcla de productos) que una supuesta “mezcla ideal” de agua de 1.800 kg.

En consecuencia, el resultado de esta exposición teórica sobre la temperatura final de la mezcla arrojará una temperatura bastante superior a la que realmente ocurra en realidad. Esto es muy conveniente de cara a un criterio conservador de diseño.

Se toma una masa de 1.800 kg porque es esta la cantidad que aproximadamente queda al final de la reacción según puede comprobarse en los siguientes cálculos:

Cantidad inicial de agua	+ 1.800 kg
Adición de agua con el hipoclorito de sodio	+ 120 kg
Consumo agua durante la depuración	- 50 kg
Adición agua con el bisulfito de sodio	+ 123 kg
Consumo de agua durante la anti-cloración	- 10 kg
	<hr/>
Masa total de agua al final del proceso	1.983 kg

Una masa de agua de 1.800 kg y sometida a 40,07 kcal/mol experimenta un salto térmico según la siguiente ecuación: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

Numéricamente, una masa de 1.800 kg de agua ($c = 1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$) experimentará un salto térmico de: $\Delta T = 20.435,7 \text{ kcal} / [(1.800 \text{ kg}) \cdot (1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1})] = 11,35 \text{ °C}$.

Cálculos para dimensión de la estructura de soporte

En este caso, se utilizará el acero S 275 JR de acuerdo con la norma UNE EN 10025. Este acero presenta un límite elástico de $\sigma = 275 \text{ N/mm}^2$ (2.750 kp/cm²).

En la estructura, son dos los esfuerzos fundamentales que hay que tener en cuenta: la flexión de las vigas horizontales y la compresión de los pilares. El resto de los esfuerzos pueden considerarse despreciables frente a estos dos. Tal es el caso de los esfuerzos cortantes de las vigas. En consecuencia, un cálculo de la estructura en base a las sollicitaciones mencionadas será suficiente para la construcción de la estructura.

Tras elegir el material de construcción, es necesaria la dimensión de las sollicitaciones externas que ha de soportar la estructura. Éstas no son otras que el peso del conjunto reactor-mezcla en las condiciones más desfavorables posibles. Se tendrán también en cuenta la

posibilidad de una posible modificación futura del sistema de depuración que contemple un aumento de la cantidad de efluentes. En este sentido es conveniente tomar 13.000 kg como condiciones de cálculo.

Las diferentes vigas horizontales pueden estudiarse en base al modelo de viga biempotrada.

El momento flector máximo se calcula según la ecuación:

$$M_{\max} = \frac{P \cdot l}{8}$$

De entre todas las vigas, el caso de cálculo más desfavorable lo constituye el travesaño de longitud 2.100 mm. Es pues este el caso sobre el que se centrarán los cálculos con vistas a encontrar el perfil idóneo.

El depósito reactor tiene tres puntos de apoyo distribuidos en su periferia uniformemente (120° de separación). En consecuencia, bajo hipótesis de cálculo de 13.000 kg, el travesaño de 2.100 mm soporta $13.000 / 3 = 4.333 \text{ kp}$ en su sección media. Por tanto, el momento máximo será el siguiente:

$$M_{\max} = \frac{4.333 \cdot 210}{8} = 113.741 \text{ kp} \cdot \text{cm}$$

Con los parámetros conocidos, se puede hallar el perfil necesario. En efecto, en teniendo en cuenta los coeficientes de mayoración de carga (1,5), de peso propio (1,33) y de minoración de la resistencia de acero (1,15), se obtiene que el módulo resistente W de la sección es:

$$W = \frac{1,5 \cdot 1,33 \cdot 1,15 \cdot M_{\max}}{\sigma} = 95 \text{ cm}^3$$

Finalmente, se selecciona un perfil de tipo HEB 140 para construir la estructura.

Los pilares, también formados por HEB 140, son capaces de aguantar el peso total ponderado por los coeficientes de mayoración de carga y de peso propio (Prontuario de Estructuras Metálicas publicado por el Ministerio de Fomento).

Cálculos del par nominal en el sistema de agitación

Primeramente, se procede a calcular el valor del par nominal del conjunto agitador. Para ello hay que recordar que la potencia nominal del motor es 1.470 W y que la salida del reductor ofrece una velocidad de giro de 100 rpm.

Por tanto, teniendo en cuenta la potencia del motor y la velocidad de rotación del conjunto, se puede calcular el par nominal M del conjunto como se muestra a continuación:

$$M = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \Pi \cdot \omega} = \frac{(1.470 \text{ W}) \cdot 60}{2 \cdot \Pi \cdot (100 \text{ rpm})} = 140,3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Se concluye que el sistema de agitación ofrece un par nominal de 140 N.m

Cálculos de caudal en el sistema de agitación

A partir de la geometría que presenta la turbina se puede deducir el volumen v (no se incluye el inducido) evacuado en 100 revoluciones (un minuto). Partiendo de este valor se puede calcular el caudal removido en una hora. Para una revolución, el líquido agitado por la turbina (300 mm de radio y 70 mm de altura) se puede calcular mediante la ecuación siguiente ($R = 300 \text{ mm}$ y $H = 70 \text{ mm}$):

$$v = 2 \cdot \Pi \cdot R^2 \cdot H \cdot 100 = 3,95 \text{ m}^3/\text{min}$$

Este valor conduce a que en una hora el caudal agitado (caudal nominal) sea de:

$$V = 60 \cdot v = 237 \text{ m}^3/\text{h.}$$

DISCUSIÓN

Se ha tenido en consideración para el diseño del reactor y la decisión de uso del producto químico descontaminante, la resistencia de los priones a la inactivación con nucleasas, radiación UV a 254nm cationes divalentes, iones metálicos quelantes, tratamiento con psoralenos, productos químicos ácidos con pH entre 3 y 7, hidroxilamina y formalina y la reducción de su capacidad de contaminación gracias a la acción prolongada de proteasas o mediante el uso de tratamientos con la ebullición en SDS, álcalis (>pH10), nucleasas, peróxido de hidrógeno o urea.

Igualmente, se ha considerado la disminución de infectividad cuando son sometidos a autoclave de vapor a 132°C durante más de dos horas o mediante la acción de solventes orgánicos desnaturizantes o agentes caotrópicos como el isocianato de guanidina (Torres, JM; Brun, A; Castilla, J y Sánchez-Vizcaíno, JM).

Así mismo, se estudió la posibilidad de uso de procedimientos que logran reducir el título de la infectividad a valores razonables, como el ozono (UK *Health Protection Agency*), el hipoclorito de sodio 10% (1hora), hidróxido de sodio 2 M, permanganato de potasio 0,002

M, fenol 90%, autoclavado a 134°C, 30 min, cloroformo, éter, acetona y urea 6 M (Büeler H, Aguzzi A, Sailer A, Greiner RA, Autenried P, Aguet M & Weissmann C.).

Finalmente, se tuvo en consideración un procedimiento patentado de inactivación de priones basado en el uso de alcohol metílico o etílico a 70°C (30') en presencia de un tensoactivo potente y posteriormente enfriado y adicionando en concentración elevada un reactivo caotrope durante 16 horas a temperatura ambiente y posteriormente retirando el reactivo y concentrando y posteriormente filtrando la solución desalinizada esterilizada. Puede seguirle un tratamiento térmico (Reichl, Herwig), desestimándose por su complejidad en la preparación y su incorporación para uso con grandes cantidades de efluentes en procesos automatizados.

No existen documentalmente referencias de que se haya proyectado un tipo de reactor químico para grandes volúmenes de efluentes contaminados con priones, por lo que el diseño y cálculos realizados no pueden ser discutidos con otras versiones.

CONCLUSIONES

Si en el diseño, se tienen en consideración los aspectos técnicos presentados, se obtiene las siguientes conclusiones:

- El reactor químico asegurará que el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del aparato, consiga la mezcla deseada de las fases presentes, proporcionando el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y con el catalizador (si existe) para conseguir la extensión deseada de la reacción y permitir las condiciones de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la velocidad deseada.
- El uso de un agitador mecánico para la homogenización del producto y el reactivo, no es tan eficaz como el uso de catalizadores o el empleo del calor, pero sí es barato y además indispensable para permitir el tiempo de residencia suficiente del neutralizador químico.
- El soporte de la estructura diseñado es el más apropiado por sus características de precio, resistencia, facilidad de construcción, soldabilidad y fiabilidad.
- La filtración HEPA H14 garantiza la retención de los aerosoles generados durante el proceso y el carbón activo la neutralización de olores.
- El sistema de control con tecnología programada para la medida y toma de datos, resulta más económico que el dominio analógico o el dominio temporal, menos susceptible a

interferencias eléctricas y propicia una conversión al dominio de los números de forma inmediata.

La tecnología programada, supone simplicidad en la instalación y la desinstalación, en la localización de errores y en la escalabilidad. Es flexible, versátil, poco voluminosa y facilita las tareas de mantenimiento.

- La arquitectura de control propuesta permitirá flexibilidad, indispensable si se tiene en cuenta el fin del sistema físico y seguro.
- El sistema de pesaje proyectado, hará posible el control del llenado del reactor de una forma exacta y segura.
- Los elementos de conexión en PVC entre las diferentes partes proyectadas, resulta totalmente compatible con las sustancias a transportar.
- Las válvulas de corte o paso a instalar, asegurarán la contención y la administración de la sustancia descontaminante. Las válvulas manuales se utilizarán como método de seguridad para mantener en todo momento bajo control la distribución de la sustancia. Por su parte, las electroválvulas son los elementos que permitirán el control (automático o manual) de la administración del hipoclorito de sodio.

Para los cálculos del proceso de esterilización se ha tenido en cuenta que durante el ataque con hipoclorito de sodio, debido a su poder oxidante, el ion hipocloroso reaccionará rápidamente con el amoníaco de las aguas residuales formando tres tipos de cloraminas en reacciones sucesivas.

Si se continúa la adición de cloro se pasa el denominado BREAKPOINT a partir del cual resultará un aumento directamente proporcional de la cantidad de cloro libre disponible. A partir de aquí, se debe seguir añadiendo cloro para asegurar la desinfección. En este sentido, la adición continua hasta que existe un 2% de cloro libre en la mezcla.

Durante el proceso breakpoint-cloración, el pH disminuye muy ligeramente por la acción del HCl generado. En este sentido hay que tener en cuenta que el pH inicial de una muestra típica de aguas procedentes de los animalarios es de 8,7. Tras la cloración, el pH es de 8,6 unidades.

El proceso de cloración se realiza a temperatura constante, ya que la generación de calor durante las numerosas reacciones es completamente despreciable.

La cinética de la cloración es muy lenta por lo que se necesitan doce horas para conseguir la concentración de cloro necesaria.

En los cálculos del proceso de anti-cloración, en el caso adiabático una masa de agua sometida al calor de la reacción aumentaría su temperatura levemente en apenas 12°C. La mezcla real no sufriría en ningún caso este salto térmico debido al intercambio de calor que pueda ofrecer el reactor y debido a la inercia térmica que presenta la mezcla.

Como consecuencia, los valores tomados para los calores de formación han sido correctamente escogidos y se tiene determinado el calor de reacción y acotada la temperatura de reacción.

Resta por decir que todos los cálculos de calor y temperatura se han realizado para la situación más desfavorable. Como se puede observar, se han efectuado para el caso (de 5 kg de residuos en 1.800 kg de agua) que podría conllevar algún accidente de tipo térmico por la cuantía de las especies químicas. Obviamente, el diseño para esta situación extrema hace más fiable el sistema para las ocasiones en que se hayan de esterilizar menos cantidades de residuos.

BIBLIOGRAFIA

Prontuario de Estructuras Metálicas publicado por el Ministerio de Fomento.

Norma UNE EN 10025.

NBE EA 95.

Norma UNE 53112.

Torres JM, Brun A, Castilla J y Sánchez-Vizcaíno JM.

<http://www.veterinaria.org/revistas/vetenfinf/bse/priones/priones3.htm>

Büeler H, Aguzzi A, Sailer A, Greiner RA, Autenried P, Aguet M y Weissmann C. (1993).

Mice devoid of PrP are resistant to scrapie. *Cell*, 73: 1339-1347.

Reichl H. Oficina Española de Patentes y Marcas ES 2 101 077; Traducción de patente europea T3 86k Número de solicitud europea: 92890128.9; Titular/es: H'amosan Erzeugung Pharmazeutischer Grundstoffe GmbH Neudorf 41 A-8262 Ilz, AT.

- Brown P, Rau EH, Johnson BK, Bacote AE, Gibbs CJ y Gajdusek DC. (2000) "New studies on the heat resistance of hamster-adapted scrapie agent: threshold survival after ashing at 600 degrees C suggests an inorganic template of replication". *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*. 97 (7): 3418.
- Uk Health Protection Agency "Ozone Sterilization". (2005-04-14). Archivado del original on 2008-05-22. Retrieved 2010-02-28.
- Taylor DM. Inactivation of prions by physical and chemical means. *Journal of Hospital Infection* 1999 43 (Supplement):S69-S76.
- Tateishi J, Tashima T, Kitamoto T. Practical methods for chemical inactivation of Creutzfeldt-Jakob disease pathogen. *Microbiol Immunol* 1991; 35: 163-6.
- Taylor DM. Inactivation of SE agents. *Br Med Bull* 1993; 49:810-21
- Obiols J, Guardino Solá X. NTP 613: Encefalopatías espongiiformes transmisibles: prevención de riesgos frente a agentes causantes. 2000.
- Taylor DM, Fraser H, McConell I, Brown DA, Brown KL, Lamza KA et al. Decontamination studies with the agents of bovine spongiform encephalopathy and scrapie. *Arch Virol* 1994;139:313-26.
- Department of Health. Guidance from the ACDP TSE Risk Management Subgroup. Advisory Committee on Dangerous Pathogens (ACDP). <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130107105354/http://www.dh.gov.uk/ab/ACDP/TSEguidance/index.htm#jumpTo4>.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities, 2008 <http://www.cdc.gov/hicpac/pubs.html>.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories 5th edition, 2009. <http://www.cdc.gov/biosafety/publications/bmb15/>.