

LOS VERTIDOS DE LOS MATADEROS E INDUSTRIAS CÁRNICAS

I.- Importancia del sector

En el ámbito de este módulo, consideraremos al sector cárnico como el que desarrolla las actividades de matadero, despiece y elaborados cárnicos, de los grupos ganaderos vacuno, porcino y aves. Estas actividades están recogidas en el anejo 1 de la Ley IPPC (Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrado de la contaminación) bajo los epígrafes 9.1 a) Mataderos con una capacidad de producción de canales superior a 50 t/d. Y 9.1 b1) Tratamiento y transformación destinados a la fabricación de productos alimenticios a partir de materia prima animal (que no sea leche) de una capacidad de producción superior a 75 t/d.

Actualmente hay 116 complejos industriales en España dentro del epígrafe 9.1 a) de esta ley.

Las cifras que reflejan el empleo que la industria cárnica genera de forma directa y el valor de las ventas anuales, del 2005 y 2006 de este sector en España, son las siguientes:

Nº Personas ocupadas		Ventas en miles de euros	
2005	2006	2005	2006
92.325	105.475	16.688.269	17.600.410

La industria cárnica constituye un subsector en crecimiento en nuestro país, que se nutre fundamentalmente de animales de ciclo corto y alimentación intensiva. La producción porcina y avícola ha sufrido un notable desarrollo, alcanzándose costes de producción muy competitivos con respecto a otras especies como vacuno u ovino.

La evolución de la producción cárnica en España en los últimos años, es la siguiente:

Producción cárnica en España (Tm)

Año	Porcino	Vacuno	Ovino	Carpino	Equino	Aves
1990	1.788.848	513.989	217.396	16.417	7.127	836.700
1991	1.885.557	506.785	211.531	15.364	5.411	881.700
1992	1.916.439	537.791	216.179	16.072	5.851	867.699
1993	2.088.821	488.003	224.143	16.429	7.256	831.620
1994	2.107.933	483.374	224.944	16.368	7.560	873.604
1995	2.174.823	508.492	227.126	14.932	6.988	920.100
1996	2.315.910	564.602	223.296	14.469	7.444	877.714
1997	2.401.136	592.186	229.151	16.047	8.320	901.568
1998	2.744.362	650.725	233.313	16.081	6.696	998.800
1999	2.892.255	677.573	221.327	17.463	6.279	1.001.550
2000	2.912.390	631.784	232.331	18.801	6.732	986.712
2001	2.992.707	642.033	236.409	15.369	8.639	1.307.265
2002	3.122.577	654.161	239.500	15.101	5.742	1.331.700
2003	3.189.508	703.452	236.242	13.915	4.777	1.330.030
2004	3.175.633	702.637	231.463	13.373	4.760	1.300.030
2005	3.163.860	713.637	231.585	11.733	4.783	1.326.829
2006	3.183.920	672.710	215.413	10.592	5.300	1.281.302

Desde el punto de vista de la actividad que desarrollan, las empresas pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: mataderos, almacenes frigoríficos, salas de despiece e industrias de

elaboración.

Actividad	Nº de establecimientos
Número de mataderos (excluidos los de excepción permanente)	589
Número de almacenes frigoríficos	2.155
Número de salas de despiece	1.938
Número de industrias de elaboración	4.847
Número medio de empleados/empresa	11

Fuente: (MISACO-Ministerio de Sanidad y Consumo, Febrero 2004).

La distribución geográfica de los diversos establecimientos cárnicos, según datos del año 2000, es la siguiente:

Comunidades Autónomas	Matadero frigorífico	Sala de despiece	Almacén frigorífico	Industria cárnica	Otros	Nº total de establecimientos
Andalucía	100	270	154	655	307	1.486
Aragón	27	43	41	132	102	345
Asturias	11	20	25	109	42	207
Baleares	7	36	60	88	64	255
Canarias	7	12	59	59	44	181
Cantabria	4	7	11	30	17	69
Castilla la Mancha	47	97	46	278	161	629
Castilla-León	127	265	115	721	168	1.396
Cataluña	69	334	358	741	716	2.218
Extremadura	28	67	25	231	73	424
Galicia	51	85	109	235	119	599
La Rioja	7	9	11	108	9	144
Madrid	18	104	126	142	224	614
Murcia	24	62	19	123	69	297
Navarra	12	23	29	118	41	223
País Vasco	8	52	84	99	108	351
Valencia	38	124	169	339	320	990
Total	585	1.610	1.441	4.208	2.584	10.428

Fuente: Ministerio de Sanidad y Consumo.

La evolución de los productos cárnicos durante los últimos años, según la Asociación de Industrias de la Carne de España (AICE) ha sido la siguiente:

Productos	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Jamón y paleta curados	182.337	185.000	193.880	200.510	204.339	234.000	245.700	249.400	251.345	265.168
Embutidos curados	156.687	157.000	157.000	169.999	179.094	184.466	191.844	193.000	193.386	192.999
Jamón y paleta cocidos	125.606	123.500	126.588	136.841	150.607	158.137	169.997	172.500	174.398	178.583
Otros tratados calor	242.094	243.600	254.562	279.229	299.222	329.323	345.789	351.000	355.212	360.540
Adobados y frescos	127.113	132.800	139.838	145.487	167.637	170.000	170.600	174.500	170.165	181.772
Platos preparados	44.377	45.100	46.047	57.558	59.918	63.513	66.688	68.700	71.105	73.593
Total	878.214	887.000	917.915	989.624	1.060.817	1.139.439	1.190.618	1.209.100	1.215.611	1.252.655

II.- Procesos

Los mataderos son establecimientos en los que se sacrifican los animales, constituyendo la primera etapa en el proceso de industrialización de la carne, considerando la canal como producto final del proceso.

La transformación de piezas de carne y despojos mediante una serie de acciones entre las que se incluye un tratamiento térmico da lugar a los productos cárnicos cocidos. Entre ellos podemos citar el jamón y paleta cocida, los fiambres y salchichas. Antes de la operación de cocción, el producto se envasa a vacío en bolsas de plástico y después se introduce en moldes.

El proceso de cocción se realiza por etapas: al principio la temperatura se mantiene por debajo de la de coagulación proteica (60°C), y posteriormente se va elevando hasta llegar a los 70°C. El envasado de los jamones permite que el agua de escaldado y/o enfriado no entre en contacto con el alimento.

La cocción puede realizarse con agua, con vapor o con aire caliente, siendo más perfecta cuando el calor es aportado por el vapor o por el aire. Por ello está muy extendido el uso de hornos de vapor o de aire caliente.

Los productos crudo curados se obtienen, bien a partir de piezas de carne enteras como en el caso del jamón, paleta o lomo, o bien a partir de recortes de magro y grasa sometidos a las operaciones de picado y amasado en el caso de salchichones, chorizos... A todos ellos se les adicionan sales de curado, junto con especias y otros ingredientes. Posteriormente son sometidos a un proceso de secado natural o artificial hasta que el producto es estable a temperatura ambiente y ha alcanzado las características organolépticas adecuadas.

En el caso de jamones y paletas curadas, los jamones son salados con sal seca en cámaras a 1-3 °C y alta humedad (90%), durante un periodo de tiempo variable que depende del peso del jamón. Es muy importante mantener una temperatura entre 0 y 5°C durante esta etapa, puesto que por debajo de ella la sal no penetra y por encima se favorece la contaminación microbiana. Los dos sistemas de salado más empleados son el salado en pilas y el salado en contenedores, aunque se ha intentado el salado húmedo mediante salmueras o por inyección de la misma.

A continuación se describen, de forma general, los diferentes procesos productivos que se pueden llevar a cabo en un matadero de vacuno y porcino, estando el diagrama reflejado en la página siguiente.

Recepción de materias primas. Estos animales permanecen en un corral a la espera de que se proceda a su sacrificio.

Sacrificio o aturdimiento: los animales son aturridos mediante una especie de pistola con la que se les inyecta una sustancia para aturdirlos. Se les lava exteriormente y se les cuelga sobre unos ganchos para pasar a la fase posterior. En esta etapa del proceso se generan vertidos de aguas del lavado de los animales.

Desangrado de las piezas: se procede al desangrado de los animales, la sangre se recoge en unos recipientes para su venta o tratamiento posterior.

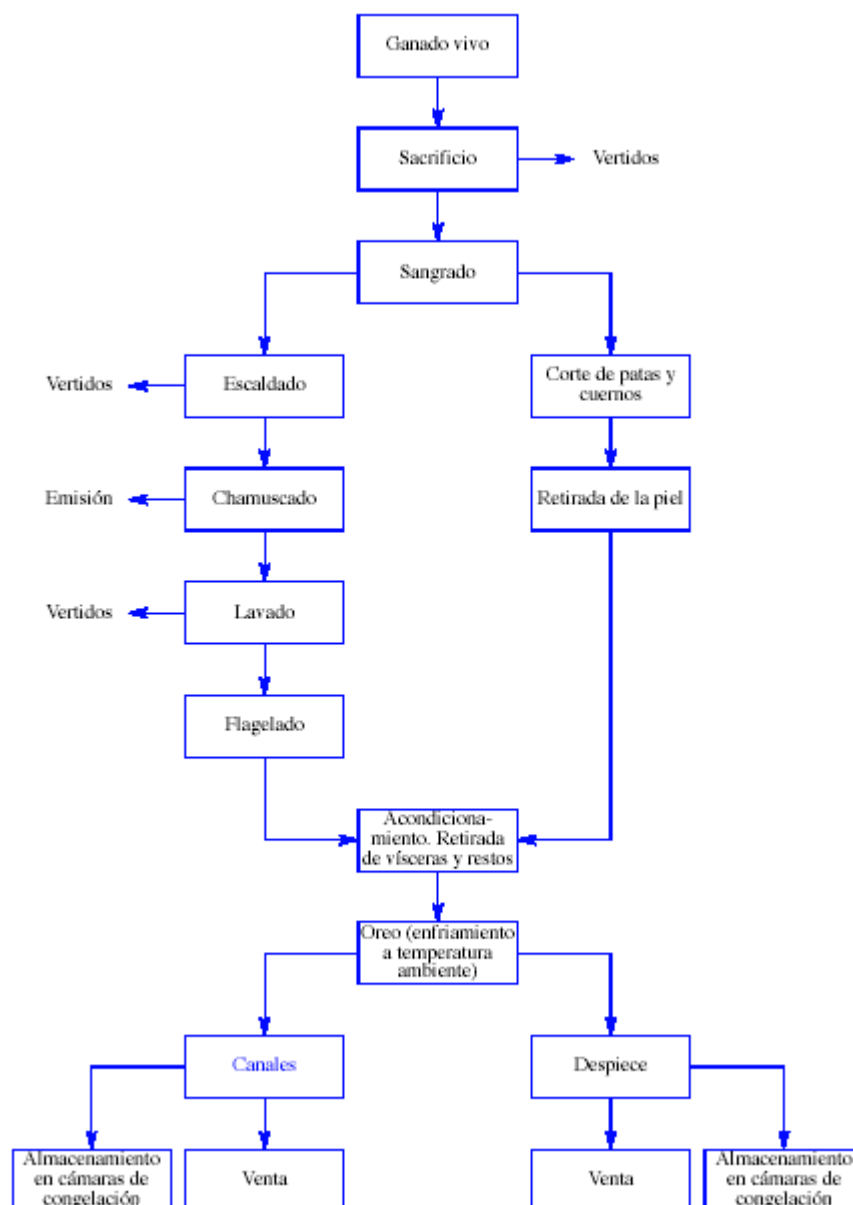
Después de esta etapa, se siguen dos líneas diferentes según se trata de ganado porcino o vacuno:

Porcino: una vez realizado el desangrado del ganado, el proceso se divide en varias etapas:

Escaldado: consiste en introducir las piezas en agua hirviendo para eliminar las impurezas de la piel. En el momento de vaciar las cubas de agua caliente se producen vertidos de aguas residuales.

Chamuscado: las piezas de ganado se introducen en cámaras donde unos quemadores eliminan los restos de pelos e impurezas que hayan quedado en la piel tras el escaldado. En esta etapa se generan emisiones de gases procedentes de los quemadores.

Lavado y flagelado: se pasan las piezas a través de unos chorros de agua para arrastrar las impurezas del chamuscado, a la vez se produce el flagelado donde unos latiguillos van separando estas impurezas. En esta etapa se generan vertidos de aguas residuales.



Vacuno:

Corte: se eliminan las patas y los cuernos de las piezas de ganado vacuno.

Retirada de la piel: mientras que en el ganado porcino no es necesario retirar la piel, en el vacuno sí. Esta piel es vendida como subproducto, por lo que no se puede considerar como un residuo del proceso productivo.

Acondicionamiento: a partir de aquí las etapas son comunes de nuevo para las dos líneas de materia prima. Se procede a la eliminación de restos que no son utilizables en este proceso, caso de las vísceras (pulmones, corazón, etc.). Pero estos restos no se pueden considerar como residuos ya que son aprovechados para la obtención de grasas, chicharrón y tripas; estos tres subproductos se venden. La obtención de grasas y chicharrón tiene lugar en un digestor donde se funden todos los restos, a partir de aquí se obtiene una fracción sólida que es el *chicharrón* (que es utilizado para la obtención de piensos) y una fracción líquida que es la *grasa*.

Oreo: las piezas en canal, es decir, enteras y limpias, pasan a una etapa de ventilación donde alcanzan la temperatura ambiente.

Venta: las piezas de carne se pueden vender enteras, en canal o pueden pasar antes por una etapa de despiece a partir de la cual se obtienen piezas más pequeñas. Además, dependiendo del estado del mercado, los canales o las piezas de carne se pueden almacenar durante un tiempo en las cámaras de congelación para posteriormente pasar a la venta.

En el caso de un matadero de aves, el proceso es similar, con las diferencias de una mayor importancia en la zona de estabulación, que incluye la limpieza de las jaulas en la que son transportadas las aves, la etapa de desplumado, a realizar entre el escaldado y el chamuscado.

También en contadas instalaciones se efectúa el aturdimiento e incluso sacrificio en ocasiones con gases, normalmente con dióxido de carbono aún cuando recientes estudios han puesto de manifiesto que el uso del nitrógeno y otros gases inertes resultan menos agresivos.

III.- Origen y composición de las aguas residuales

Para realizar los procesos de trabajo de un matadero, así como para mantener las condiciones higiénicas, es necesario un consumo elevado de agua, que podría establecerse en aproximadamente unos cinco litros de agua por kilo de peso vivo del animal. Para las aves, se estima entre 5 y 10 litros de agua por animal.

Otros autores indican los siguientes intervalos de consumos de agua:

Consumo medio de agua (l/pieza)	
Vacuno	500-1000
Porcino	250-550

En la Guía de Mejores Técnicas Disponibles (**GMTD**) en España del Sector Cárnico 2005 editada por el Ministerio de Medio Ambiente, se indica que el consumo de agua de un matadero en España está comprendido en el rango 1- 6,4 m³/t de canal (valor promedio de 3,4 m³/t canal) Este valor incluye el volumen total de agua de cualquier procedencia y destinada a cualquier uso, es decir, tanto la que se emplea en la zona de matadero propiamente dicha como la utilizada en operaciones auxiliares. Estos valores de consumo de agua están por debajo de los citados en estudios de otros países 2,6-20 m³/t de canal. El consumo de agua se incrementa notablemente cuando en el mismo establecimiento industrial se realizan operaciones de acondicionamiento de subproductos (tripería).

Respecto a la distribución del consumo de agua en un matadero, en la tabla siguiente se muestran dos ejemplos sobre los consumos relativos de agua en las principales operaciones de ma-

tadero que aparecen en el documento “BREF on BATs in the Slaughterhouses and Animal By-products Industries”.

	Consumos relativos de agua (% del peso vivo)	
	Reino Unido	Dinamarca
Limpieza de instalaciones y equipos	33	35-55
Limpieza de vehículos	5	5
Limpieza de establos	3	5
Esterilización de utensilios	5	10-15
Lavado de producto	31	30-35
Escaldado	7	3
Agua de refrigeración	6	5
Aguas sanitarias	10	
Calderas		2

La mayor parte del agua que se utiliza en mataderos acaba finalmente como corriente de agua residual.

Las principales fases del proceso de los mataderos en las que se producen vertidos líquidos son las siguientes:

- Estabulación: los vertidos que se producen son las deyecciones y orines de las reses (purines), además de los restos de estiércol procedentes de la limpieza. En la siguiente tabla se encuentra la carga media que supone esta fase.

Animal	Peso animal (Kg)	Producción heces y orina (Kg/día)	DBO ₅ (g/día)
Vacuno de carne	340	20,3	544
Cerdos finalizados	91	5,90	177
Ovino	45	1,8	41

- Desangrado: vertidos de sangre con elevada carga orgánica y nitrogenada. La sangre aporta una DQO total de 375.000 mg/L y una elevada cantidad de nitrógeno, con una relación carbono/nitrógeno del orden de 3:4. Se estima que entre un 15% - 20% de la sangre va a parar a los vertidos finales representando una carga de 1 a 2 kg de DBO₅ por cada 1.000 kg de peso vivo y este valor aumentaría hasta 5,8 kg de DBO₅/t peso vivo si el vertido de la sangre es total.
- Escaldado: vertido de aguas residuales con alta carga orgánica y un alto volumen (18 a 36 litros por cerdo). En esta fase se produce el pelado de la res, por lo que el vertido contendrá gran cantidad de pelo y sólidos en suspensión. En el escaldado al ser una operación posterior al desangrado, el agua arrastrará residuos orgánicos como son pelos, sangre y grasa superficial, proporcionando una carga de 0,25 kg de DBO₅/t peso vivo y el pelado una carga estimada de 0,4 Kg de DBO₅/t peso vivo.
- Evisceración: en esta fase se produce un vertido con gran cantidad de sólidos en suspensión tales como trozos de vísceras, grasas, sangre y contenidos digestivos. El volumen generado en esta fase es bajo en comparación con el resto de las fases.
- Lavado de canales: residuos con elevada carga orgánica y productos desinfectantes, siendo alto el volumen de vertido.

- Limpieza de equipos: la limpieza de los equipos y de las instalaciones genera un vertido con elevada carga orgánica y de alto volumen. Además puede haber concentraciones significativas de detergentes y desinfectantes que pueden afectar en el tratamiento posterior (pueden formar espumas)

En la operación de salado de los productos elaborados, hay que prestar especial importancia a la generación de vertidos salinos procedentes de los líquidos exudados por las piezas.

En la fabricación de productos elaborados cocidos, las aguas residuales se producen en las operaciones de cocción, refrigeración y limpieza de instalaciones. Contienen sangre, grasa, proteínas, azúcares, especias, aditivos, detergentes y desinfectantes. También se pueden encontrar fragmentos de piel y otros tejidos.

Respecto a los productos curados, se generan vertidos fundamentalmente en la operación de lavado de perniles y en la limpieza de las instalaciones. Esta agua destaca por su alto contenido salino (sal y aditivos) y orgánico (sangre, grasa, proteínas, azúcares, especias). Las aguas de limpieza de instalaciones contienen también detergentes y desinfectantes. También se pueden encontrar fragmentos de piel y otros tejidos. La elevada conductividad de esta agua es difícilmente eliminable y plantea problemas importantes en los tratamientos biológicos de las estaciones de depuración

Los principales parámetros que definen las características químicas de las aguas residuales de un matadero se muestran en la tabla siguiente, tomada de la GMTD

Parámetros	Principales fuentes
Materia orgánica (DQO, COT ^(u))	Sangre, aguas de escaldado, purín/estiércol, contenidos estomacales, etc.
Sólidos en suspensión	purín/estiércol, contenidos estomacales, pelos, restos carne
Aceites y grasas	Aguas de escaldado, lavado canales
Amonio y urea	Purín/estiércol, sangre
Fosfatos, nitrógeno y sales	Purín/estiércol, contenidos estomacales, sangre, productos detergentes y desinfectantes
Detergentes y desinfectantes	Productos detergentes y desinfectantes
Conductividad eléctrica	En los mataderos con tratamiento y preparación de las tripas podría haber elevada conductividad si se perdieran cantidades importantes de la sal que se usa para salar estas o si se salaran pieles del vacuno sacrificado

Otra forma de clasificar, considerando su origen y el tipo de contaminante, los vertidos de aguas residuales que se generan en los mataderos, es la siguiente:

- Aguas de limpieza de instalaciones y equipos: los contaminantes característicos de este tipo de vertido son variación del pH, sólidos en suspensión, materia orgánica, aceites y grasas y detergentes. Se estima que entre el 25% - 55% del total de la carga contaminante de los vertidos de los mataderos, medidas en DBO₅, son arrastradas por las aguas de limpieza.
- Aguas procedentes de aseos y sanitarios: los contaminantes cuya presencia cabe esperar en el vertido son materia orgánica, sólidos en suspensión, amoníaco y detergentes.
- Aguas pluviales: sólidos en suspensión, materia sedimentables.
- Aguas del escaldado de las reses de porcino y del lavado de las reses de ganado vacuno y porcino. Los contaminantes de este vertido son sólidos en suspensión y materia orgánica.

En general, estos efluentes contienen: sangre, estiércol, pelos, plumas, grasas, huesos, proteínas y otros contaminantes solubles. Los vertidos generados en los mataderos de tipo polivalente (sacrificio de ganado porcino, vacuno, ovino, etc...) presentan las siguientes principales características:

1. Presencia de sangre: en función del tipo de sistema de recuperación de sangre dentro del matadero, se puede tener distintos tipos de vertido. Un exceso en el vertido de sangre puede acarrear graves problemas en la planta de tratamiento, debido fundamentalmente al aumento de materia nitrogenada y orgánica con el consiguiente incremento de la DQO y DBO₅.
2. Presencia de grasas: al tratarse de residuos animales existe gran presencia de grasas, que deberían eliminarse para aumentar la tratabilidad del vertido.
3. Presencia de sólidos decantables: existe una gran cantidad de sólidos que decantan fácilmente. Se trata de restos de piel y estiércol. Esto hace preciso una agitación en la balsa de homogeneización.
4. Presencia de pelos y restos animales: pelos y restos de vísceras en el vertido.

Debido a la diversidad de instalaciones, las distintas formas de operación y la heterogeneidad de las especies sacrificadas, resulta muy difícil caracterizar globalmente esta agua. Incluso para una misma industria, día a día y, para cada día, hora a hora, el vertido que se produce es distinto, existiendo en la bibliografía una enorme disparidad de datos, en ocasiones contradictorios. Existen estudios que indican valores punta de materia orgánica que superan al doble del valor medio diario de algunas instalaciones.

En general, los efluentes tienen altas temperaturas y contienen elementos patógenos, además de altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno. La relación promedio de DQO:DBO₅:N en un matadero es de 12:4:1. Estos parámetros se emplean para el diseño de los sistemas de tratamiento.

Proteínas y grasas son el principal componente de la carga orgánica presente en las aguas de lavado, encontrándose otras sustancias como la heparina y sales biliares. También contienen hidratos de carbono como glucosa y celulosa, y generalmente detergentes y desinfectantes. Cabe destacar que estas corrientes presentan un contenido de microorganismos patógenos importante.

En la GMTD se encuentra la tabla siguiente con los rangos de variación y el valor promedio de concentración de los principales parámetros químicos de las aguas residuales de matadero. Las concentraciones pueden variar ampliamente de una instalación a otra y en presentar valores bastante diferentes a los expuestos.

	Max	Min	Promedio
Demanda Química de Oxígeno DQO (mg O ₂ /l)	35.000	774	10.259
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg O ₂ /l)	5.350	500	2.550
Sólidos en Suspensión-SS (mg/l)	5.000	220	2.102
Aceites y Grasas-AyG (mg/l)	1.200	23	474
Nitrógeno total-NT (mg N/l)	750	48	252
Fósforo Total-PT (mg P/l)	90	10	40
Cloruros-Cl- (mg Cl-/l)	1.000	649	825
pH	8	6	7

A título indicativo, los valores contaminantes medios diarios de los vertidos generados por los mataderos, habitualmente se encuentran dentro del rango que figura en la siguiente tabla:

PARÁMETROS	VALOR (mg/L)
DQO	3.000-6.000
DBO ₅	500-3.000
S.S.	1.000- 2.500
pH (unidades de pH)	6,8 – 8,0
ACEITES Y GRASAS	500 – 1.500
NTK	150-300
NH ₄	65-80
PO ₄	20-25

Otros autores, indican lo siguiente:

	Matadero aves	Matadero vacuno, ovino, porcino	Industria cárnica integral	Salas despiece
Consumo de agua m ³ /t	7,5	8,2	5	1,8
DBO ₅ mgO ₂ /l	916	1750	2000	418
DQO mgO ₂ /l	1799	2938	4700	1170
SS mg/l	390	647	834	375
NT mg/l		73		
PT mg/l		29		
Aceites y grasas mg/l		28		
Contaminación generada				
Kg DBO ₅ /t	6,2	12,2	12,5	0,7
DQO/DBO ₅	2	1,9	1,9	2,8

Valores ilustrativos de las características de las aguas residuales de distintos tipos de industrias cárnicas. Fuente: AMB consultores (Sin aporte de sangre a las aguas).

También, como datos de referencia más próximos, pueden considerarse los que figuran en la “Guía de notificación de las emisiones de mataderos e industrias de elaborados cárnicos”, elaborada por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Las tablas de concentraciones medias seleccionadas que figuran en la citada guía, son las siguientes:

Contaminante	Mataderos Polivalentes (mg/l)	Mataderos Porcino (mg/l)	Mataderos Avícolas (mg/l)
COT	880	1.090	1.647
N _T	335	385	150
P _T	45	40	80
Cloruros	690	No disponible	215

Contaminante	Industria Integral del Cerdo (mg/l)	
	Cerdo Blanco	Cerdo Ibérico
COT	630	1.382
N _T	180	275
P _T	30	40
Cloruros	795	795

En dicha Guía además de las tablas seleccionadas expuestas arriba, figuran otras que se han recogido en el Anejo I de estos apuntes.

IV.- Tratamiento de las aguas residuales.

Una planta de tratamiento para efluentes de mataderos se diseña para depurar básicamente los contaminantes determinados mediante DBO₅, aceites y grasas, sólidos suspendidos, DQO y microorganismos patógenos, e incluso en algunos casos compuestos nitrogenados y fosforados. Lo más recomendable es diseñar un sistema de tratamiento que considere un pretratamiento (rejas y trampas de grasas), un tratamiento primario (físico o físico-químico) y un tratamiento secundario (biológico).

Sin embargo, la solución que cada planta adopte, podrá sufrir variaciones en función de las cargas contaminantes, concentración, disponibilidad de espacio, exigencias de vertido, etc... pudiendo observarse en la siguiente tabla una comparativa entre las diversas opciones.

Comparación de los diferentes sistemas de tratamiento.

Criterios	Tratamiento al terreno o irrigación	Lagunas facultativas anaeróbica	Lagunas aireadas mixtas aeróbicas	Flotación + RBC	Flotación + filtro por gravedad	Lodos activado oxidación en zanjas	Aeróbico UASB + sistema aeróbico
Costes de inversión	*	**	***	****	****	*****	*****
Costes operacionales	**	*	**	***	***	*****	***
Costes mantenimiento	*	*	***	****	***	*****	****
Complejidad	*	*	***	****	****	*****	****
Consumo de energía	*	*	***	***	***	*****	***
Requerimiento de espacio	*****	****	***	*	*	***	***
Eficiencia eliminación de DBO	**	****	****	*****	*****	*****	*****
Fiabilidad	**	***	***	*****	*****	***	*****

* Bajo ***** Alto

En la Tabla siguiente se muestran valores de eficiencia de remoción según el sistema de tratamiento escogido.

Eficiencia de depuración de los sistemas de tratamiento de efluentes provenientes de la industria procesadora de carne.

Sistema de Tratamiento	Denominación Común	DBO₅ %	DQO %	TKN %	SST %	Aceites y Grasas %
Mecánico	Filtración	5 - 15	5 - 15	-----	25 - 40	5 - 10
Mecánico + Físico	Flotación de Aceites	30 - 45	30 - 45	5 - 15	80 - 85	>90
Mecánico + Físicoquímico	Floculación /Flotación	70 - 80	70 - 80	50 - 60	90 - 95	>95
Mecánico + Físico + Biológico.	Biológico	95 - 99	>90	85 - 97	>95	>95

El proceso físico químico mencionado, es una coagulación /floculación. Los procesos biológicos a que se refiere son únicamente aerobios.

El tratamiento deberá incluir una Homogeneización aireada, ya que debido a que las actividades de matadero y elaboración son variables a lo largo de la jornada, se pueden producir puntas de caudal y carga contaminante que los equipos de depuración no lleguen a absorber. En tal caso conviene disponer de una capacidad de homogeneización superior a la requerida para el tratamiento adecuado de las aguas residuales, con el fin de evitar estos problemas potenciales debidos a la operación discontinua, así como posibles vertidos accidentales que de otra manera irían a parar al punto de vertido sin una adecuada depuración.

La balsa de homogeneización debe tener capacidad suficiente y disponer de agitación y/o aireación, para evitar fermentaciones indeseadas, sobre todo en el fondo de la balsa donde pueden depositarse los sólidos. Por tanto, los elementos básicos necesarios para la implantación de esta técnica son la propia balsa de homogeneización, el dispositivo de agitación y/o la soplante (si dispone de aireación).

A continuación, se describen brevemente los principales procesos de tratamiento que pueden utilizarse para los vertidos de aguas residuales de los mataderos:

- **Pretratamiento**

Es la primera operación a que se someten los residuos líquidos. Consiste en retener los sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de las plantas de tratamiento.

- **Rejas**: Dispositivo con aberturas de tamaño uniforme, donde quedan retenidas las partículas gruesas del efluente. El paso libre entre barras es de 50 a 100 mm para los sólidos gruesos y de 12 a 20 mm para los sólidos finos. Los principales parámetros de diseño son: tipo de residuo a tratar, flujo de descarga, paso libre entre barras, volumen de sólidos retenidos y pérdida de carga. En cuanto a la elección del sistema de limpieza de las rejas, ésta debe efectuarse en función de la importancia de la planta de tratamiento, de la naturaleza del vertido a tratar, y por supuesto, de las disponibilidades económicas.

- **Trampas de grasas**: Consisten en un estanque rectangular, en el cual la sustancia grasa es empujada hacia la superficie y atrapada por un bafle.

- **Tratamiento primario**

Consiste en la separación de una cantidad importante de los sólidos suspendidos, conte-

nidos en las aguas residuales, mediante procesos físicos y/o químicos

- Estanque homogenizador: Requiere de un estanque con aireador, que tenga una capacidad aproximada de un 60% del flujo diario, donde caudales punta, pH y temperaturas son homogeneizados, resultando un efluente de características uniformes.
- Flotación: Se utiliza para remover sólidos suspendidos y grasas remanentes; tiene mayor eficiencia que las rejillas y las trampas. Se realiza con aire disuelto y la eficiencia se puede aumentar agregando floculantes químicos (aluminio, sales de hierro, etc.). El lodo de la flotación tiene un alto contenido de proteínas y grasas y podría usarse para alimento de animales, después de pasteurizarlo o ser procesado en una planta recuperadora.
- Tecnologías de membranas: Se utilizan no solamente para eliminar parte de la materia orgánica de los efluentes generados en los mataderos sino que también permite la recuperación de sustancias reaprovechables, actualmente desechadas y la reutilización del agua. Sin embargo, es una tecnología demasiado costosa como método de tratamiento de efluentes y sólo será un proceso competitivo o complementario a los sistemas de tratamiento convencionales, cuando el terreno sea escaso y costoso, existan sustancias orgánicas valiosas recuperables en las corrientes o se precise recircular el agua en el proceso. Dependiendo del tamaño de partícula a filtrar, se puede utilizar la técnica de ósmosis inversa, ultrafiltración, microfiltración y filtración.

- **Tratamiento secundario**

El propósito de un tratamiento biológico es la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en los residuos líquidos. Consiste en la oxidación biológica de los sólidos suspendidos remanentes y de los sólidos orgánicos disueltos, medida como una reducción en la DBO₅ del efluente.

La elección del sistema de tratamiento secundario, dependerá de un gran número de factores, entre los que podemos mencionar: requerimientos del efluente (estándares de descarga), sistema de pretratamiento escogido, la disponibilidad del terreno, regulaciones ambientales locales y viabilidad económica de una planta de proceso.

- Tratamiento anaeróbico: Los efluentes provenientes de la industria de la carne pueden ser tratados en lagunas o reactores cerrados. Este tipo de tratamiento requiere poco espacio, tiene un bajo costo de operación y genera biogás, que puede ser reutilizado en el proceso productivo o comercializado.
- Tratamiento aeróbico: Todos los métodos de tratamiento aeróbico existentes pueden ser aplicados a estos efluentes: lodos activados, lagunas aireadas, filtros de goteo o contactores biológicos rotatorios (CBR), ...

La aplicación de un tratamiento secundario debe tomar en cuenta la generación de olores.

Dado su alto contenido de compuestos orgánicos y nitrógeno, el tratamiento de lodos activados de baja carga suele ser el más recomendado. Este sistema, aplicado en zanjas aireadas, permite la biodegradación del material orgánico en combinación con la nitrificación y posterior desnitrificación. Se puede prevenir la emisión de olores instalando la entrada del líquido en la base del estanque de aireación.

- **Tratamientos físico-químicos.**

Los tratamientos físico-químicos se basaron principalmente en la instalación de una celda de flotación, construida normalmente en acero inoxidable, que se monta sin necesidad de demasiadas obras.

A pesar de no tratarse de una depuración propiamente dicha, el sistema físico-químico, sí mejoraba la calidad de la mayoría de aguas residuales orgánicas, y desde luego, eliminaba correctamente los sólidos en suspensión y los aceites y grasas.

Esto se conseguía a costa de adicionar a las aguas los reactivos necesarios para aglutinar (flocular) las materias y hacerlas flotar, para poder ser arrastradas fuera de las aguas en la superficie de la celda de flotación. Asimismo, para el correcto funcionamiento de este tratamiento en las aguas residuales de un matadero, el sistema debe ir precedido de un tamizado o decantación de sólidos y de un pequeño recinto de homogeneización, que evite grandes diferencias en las aguas de entrada.

Uno de los principales problemas que presentó este pretratamiento instalado en las aguas de mataderos, fue la generación de fangos residuales. Estos eran muy voluminosos, ya que la actuación realizada sobre la carga contaminante sólo era de separación, y además los fangos llevaban incorporados todos los reactivos adicionados. Asimismo, al no haberse actuado biológicamente sobre ellos, solían generar olores.

Estos fangos, además, no eran adecuados para uso agrícola, lo cual comportaba generalmente un envío a vertedero, con su consiguiente coste económico.

Con el incremento de los controles y exigencias de la Administración, estos sistemas de pretratamiento debieron aumentar su rendimiento en la reducción de la carga orgánica de las aguas, y ello se fue consiguiendo a base de incrementar los volúmenes de reactivos y el tiempo de personal, aumentando con ello los costes de explotación.

Por ello en algunas instalaciones se ha insertado una línea de tratamiento biológico, sin desechar las instalaciones físico-químicas e incorporando un sistema biológico de bajo consumo energético.

• **Tratamiento secundario mediante reactores biológicos secuenciados**

Una de las opciones que últimamente se recomienda seguir, sobre todo por los mejores rendimientos de eliminación de compuestos nitrogenados y ausencia de bulking, como línea de tratamiento, es la siguiente:

1. - Recepción del vertido en pozo de bombeo y bombeo posterior al tamiz mediante bomba sumergible.
- 2.- Tamizado mediante tamiz rotativo, de 0'5 mm. de luz de malla.
- 3.- Homogeneización del vertido en una balsa dotada de agitación mediante agitador sumergible para evitar decantaciones, olores, y mantener los sólidos en suspensión, y posterior bombeo al tratamiento biológico.
- 4.- Tratamiento biológico SBR:

El Reactor Discontinuo Secuencial (RDS) o Sequencing Batch Reactor (SBR) en inglés, es un sistema de tratamiento de fangos activados que opera mediante un procedimiento de llenado-vaciado. En este tipo de reactores, el agua residual es adicionada en un solo reac-

tor que trabaja por cargas repitiendo un ciclo (secuencia de llenado, reacción, sedimentación y vaciado) a lo largo del tiempo.

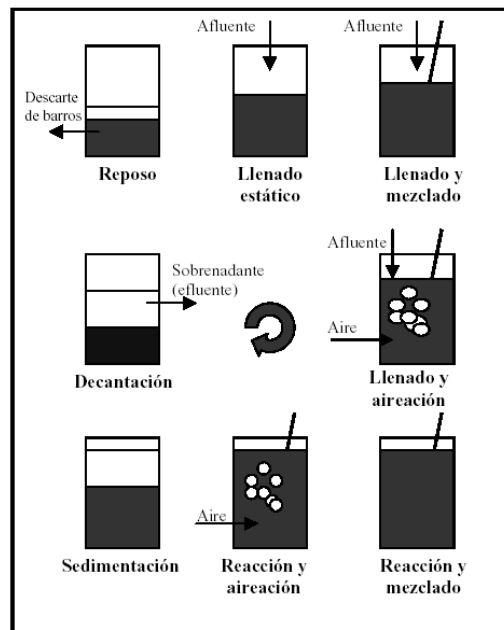


Figura 1: Ejemplo de un ciclo de SBR

Desde el punto de vista económico, la falta de necesidad de tanques de asentamiento secundarios y en ciertos tipos de SBR, la eliminación de sistemas de bombeo para retorno de lodos, ofrecen ahorros potenciales en la construcción de depuradoras SBR. Además, por lo general, las depuradoras con procesos SBR se diseñan sin tanques de sedimentación primaria, lo cual agrega un factor de ahorro de capital adicional.

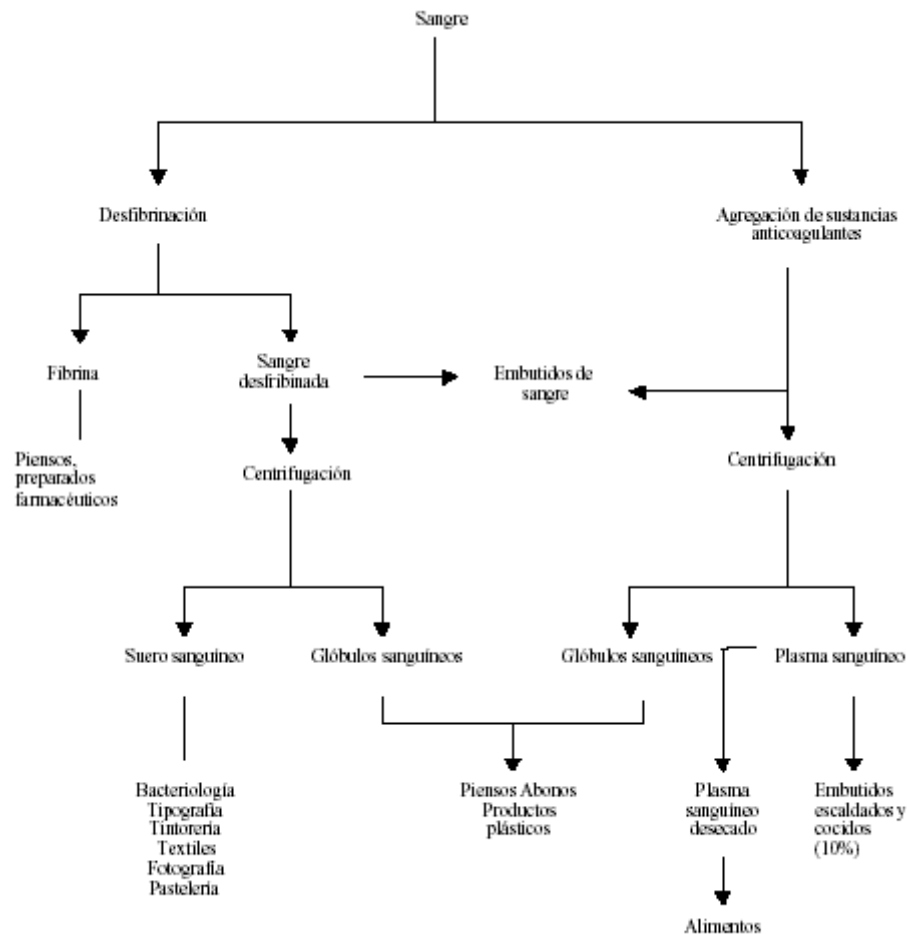
V.- Prevención de la contaminación.

Para reducir la contaminación en los procesos de producción, se recomiendan las siguientes medidas:

- Reducir la carga de los efluentes, manteniendo todos los desechos sólidos (como heces, pelos, cueros, carnes y huesos) y los líquidos concentrados (como sangre, grasas, líquidos del intestino y contenido del estómago) separados de las aguas de descargas. Esto minimiza la carga de los residuos líquidos y los efectos negativos de algunos compuestos para el tratamiento biológico posterior.

En caso de llegada masiva de sangre de un modo imprevisto a un curso de agua, terreno o a una depuradora, las consecuencias sobre los seres vivos y el propio funcionamiento de los sistemas de depuración pueden llegar a ser graves por un aumento súbito de la DQO (La DQO de la sangre está alrededor de los 375.000 mg O₂/l). Por ello, es primordial evitar al máximo su incorporación al vertido, debiendo controlarse el llenado de los depósitos e incluso instalar cubetos de seguridad.

En el siguiente diagrama pueden apreciarse las diversas vías para el aprovechamiento de la sangre:



- Minimizar el consumo de agua en los procesos de producción, utilizando agua a presión para el lavado de equipos y mejorando el recorrido del proceso productivo.
- Separar las aguas de enfriamiento de las aguas de proceso y lavado, recirculando el agua de enfriamiento.
- Controlar el uso de detergentes y desinfectantes en el lavado.
- Recuperar los sólidos, mediante la instalación de rejillas sobre las canaletas de recolección, reduciendo así su concentración en los efluentes líquidos. Lo mismo se puede efectuar para recolectar las grasas y reprocesarlas como subproducto.
- Recuperar y procesar la sangre en subproductos útiles. La sangre contaminada se envía a la planta recuperadora de subproductos.
- Evitar, dentro de lo posible, el transporte húmedo de desechos (bombeado) por ejemplo, intestinos, plumas, etc.
- Efectuar una limpieza previa seca del equipamiento y de las áreas de producción antes de la limpieza húmeda, reduciendo la carga de contaminantes del agua.
- Remover, como residuo sólido, la mayor cantidad posible de estiércol de los corrales y el rumen de los intestinos.

- Implementar un buen sistema de recolección (en seco) almacenamiento, transporte y aplicación del estiércol. Siempre que el estiércol sea incorporado al suelo, debe quedar bajo una capa de tierra de a lo menos 20 cm, de manera de evitar que las larvas de moscas incubadas en el estiércol, puedan llegar a la superficie.
- Recuperación de aceites usados provenientes del mantenimiento de vehículos y equipos, para ser entregado a una empresa especializada en su refinación.

Para reducir las emisiones de sustancias olorosas, se pueden tomar las siguientes medidas:

- Mejorar la higiene operacional.
- Todas las fuentes de emisiones de olores deben estar aisladas y bien ventiladas. Deben usarse chimeneas lo suficientemente altas para diluir los olores, idealmente después de un tratamiento del aire de ventilación.
- Remover con frecuencia el material generador de malos olores.
- Guardar un mínimo de stock de materia prima y almacenarlo en un lugar frío, cerrado y bien ventilado.
- Acortar el tiempo de matanza.
- Pasteurizar la materia prima para detener el proceso biológico generador de olores.
- Tratar de operar en sistemas cerrados o bajo vacío.

Anejo I Tablas con valores de referencia de concentración de las aguas residuales de mataderos e industrias de elaborados cárnicos.

- Tabla extraída del **BREF**, que es un documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para los mataderos y las industrias de tratamiento de residuos animales, en el que se realiza un estudio detallado de la situación actual de la industria en el que se detallan valores de emisión, siendo los correspondientes al medio hídrico los siguientes:

MATADERO PORCINO			
Contaminante	Agua Vertido l/t canal	Emisión Kg/t canal	Factor Emisión mg/l
DQO	1.667 – 6.000	3,22 – 10	536 – 6.000
N _{TOTAL}		0,18 – 2,1	30 - 1.260
P _{TOTAL}		0,02 – 0,23	3,33 – 138
MATADERO VACUNO			
DQO	4.000 – 8.000	4 – 40	500 – 10.000
N _{TOTAL}		0,172 – 1,84	21,5 – 460
P _{TOTAL}		0,025 – 0,26	3,12 – 65
MATADERO AVES			
DQO	5.070 – 16.290	4 – 41	245 – 8.086
N _{TOTAL}		0,56 – 4,65	34,3 – 917
P _{TOTAL}		0,026 – 0,7	1,6 – 138

- Valores correspondientes a las concentraciones propuestas por **dos empresas andaluzas** dedicadas a la depuración de aguas residuales industriales, incluyendo valores de concentración para mataderos polivalentes, distinguiéndose entre valores medios y valores máximos, así como para mataderos específicos.

Cont. mg/l	Matadero genérico		Matadero porcino	Matadero bovino	Matadero pollos	Elaborados cárnicos
DQO	3.500 ¹	12.000 ²	4.000 – 7.000	5.000 – 12.000	2.500 – 3.500	2.000 – 4.000
N _{TOTAL}	300 ¹	600 ²	200 – 450	250 – 750	150 – 250	80 – 150

¹ Valores medios

² Valores máximos, obtenidos para instalaciones que no disponen de sistemas de recogida de sangre

- Datos propuestos por **AINIA** Instituto Tecnológico Agroalimentario

Contaminante mg/l	Matadero aves	Matadero polivalente	Industria cárnica integral	Salas despiece
DQO	1.800	2.938	4.700	1.170
N _{TOTAL}	-	73	-	-
P _{TOTAL}	-	29	-	-

- Datos propuestos por Agriculture y Agri-Food (Canadá)

CERDOS				
Contaminante mg/l	Mataderos canadienses	Mataderos franceses ¹	Mataderos alemanes ²	Industria cárnica integral
DQO	2.941 – 8.627	2.709 – 5.527	500 – 10.500	2.333 – 3.589
N _{TOTAL}	174 – 593	-	-	90 – 271
P _{TOTAL}	20 – 61	-	-	28 - 80

¹ Sachon, G. 1986. *Les eaux résiduaires des abattoirs de bétail. Gestion e traitement*

² Tritt, W.P. y F. Schuchardt. 1992. *Materials flow and possibilities of treating liquid and solid wastes from slaughterhouses in Germany.*

- Datos propuestos por la US EPA

Contaminante mg/l	Matadero aves	Matadero polivalente	Elaborados cárnicos	Industria cárnica integral
DQO	473	3.600	2.368	1.965
COT	139,5	590	600	477
N _{TOTAL}	48,7	370	21,4	277
P _{TOTAL}	17,4	62	68,5	49
Cloruros	217	1.381	6.674	794

Anejo II Fotografías



