

UNIVERSIDAD DE MURCIA
FACULTAD DE VETERINARIA

**Departamento de Tecnología de Alimentos, Nutrición y
Bromatología**



**INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES *ante*
mortem Y LA TECNOLOGÍA DEL SACRIFICIO
SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE PORCINA**

Memoria presentada por Daniel Álvarez Álvarez para optar
al grado de Doctor.

Murcia, Julio de 2002



UNIVERSIDAD DE MURCIA
Departamento de Tecnología
de Alimentos, Nutrición y Bromatología

**GASPAR ROS BERRUEZO, DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS, NUTRICIÓN Y BROMATOLOGÍA**

INFORMA:

Que en Junta de Departamento, se acordó por unanimidad la tramitación de la Tesis Doctoral titulada “**Influencia de las condiciones *ante mortem* y la tecnología del sacrificio sobre la calidad de la carne porcina**”, presentada por el Lcdo. en Veterinaria, D. DANIEL ÁLVAREZ ÁLVAREZ.

Lo que hace constar a los efectos oportunos en Murcia, a de junio de 2002.

**ILMO. SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE DOCTORADO DEL GRUPO
ÁREAS DE CIENCIAS DE LA SALUD**



UNIVERSIDAD DE MURCIA
Departamento de Tecnología
de Alimentos, Nutrición y Bromatología

MARÍA DOLORES GARRIDO FERNÁNDEZ y SANCHO BAÑÓN ARIAS,
profesores del Área de Tecnología de Alimentos de la de la Universidad
de Murcia,

INFORMAN:

Que **D. DANIEL ÁLVAREZ ÁLVAREZ**, Lcdo. en Veterinaria, ha realizado bajo nuestra dirección y asesoramiento la Tesis Doctoral titulada: “**Influencia de las condiciones *ante mortem* y la tecnología del sacrificio sobre la calidad de la carne porcina**”, y consideramos que reúne las condiciones necesarias para su defensa por parte del interesado para optar al Grado de Doctor.

Para que así conste y a los efectos oportunos, firmamos el presente documento autorizando su presentación en Murcia, a de junio de 2002.

Dra. MARÍA DOLORES GARRIDO

Dr. SANCHO BAÑÓN

*A mi hijo, Daniel,
a mi esposa, Sandra, y a mis padres,
por hacerme feliz cada día*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mis directores de Tesis; Dra. M^a. Dolores Garrido Fernández y Dr. Sancho Bañón Arias, por haber confiado en este proyecto y haber contribuido a su culminación, por su espíritu de trabajo, entrega constante, apoyo científico, y sobre todo, por su amistad.

Al profesor Laencina, por los sabios consejos, su apoyo incondicional, y su calidad humana que ha sido un ejemplo a seguir en todo momento. Gracias por todo.

A M^a. Victoria Granados, por su ayuda durante la fase experimental en la toma de medidas y muestras en los mataderos. Gracias.

Gracias a M^a. Belén López por su apoyo en momentos especiales, y mostrar interés en todo lo que hago. Gracias por la impresora, por supuesto.

A D. Alfonso Montesinos, por permitir profundizar y afianzar mis conocimientos profesionales sobre el mundo de los mataderos industriales. Gracias por darme esa oportunidad y confiar en mí.

Agradecer a todas aquellas personas que trabajaban en los mataderos donde se realizaron los ensayos; propietarios, encargados, operarios, matarifes y veterinarios, por su colaboración en todo momento.

A todos los compañeros y compañeras del Departamento de Tecnología de los Alimentos, que de alguna manera han contribuido a que el trabajo diario sea más ameno y llevadero; especialmente a Jose M^a Ros, Manuel Castillo, M^a Dolores Gil, M^a José Jordán, Jose M^a Cayuela, Alejandra, Eduardo Ferrandini, Estefanía Costa, Rosario Vila, Antonio Barceló, Amarilis, Antonio Vicente y alumno/as interno/as, mi afectuoso reconocimiento.

A los compañeros de la Unidad de Microbiología de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, especialmente a Cruz Salmerón, Manolo, Manuel, Victoria y Juan Antonio, por los buenos momentos que hemos pasado juntos.

A la Universidad de Murcia, por haber contribuido a la realización de este trabajo mediante la adjudicación de una beca de investigación.

A la empresa familiar (Rte. el Pescador) por aliviar el desasosiego económico y permitir que continuase soñando.

A toda mi Familia, sin excepción.

Al sector cárnico regional que ha experimentado un importante desarrollo en los últimos años, como consecuencia de los grandes avances en I+D y la incorporación de tecnología punta a nivel de las industrias de transformación de la carne, especialmente a El Pozo Alimentación S.A. y más en concreto a su Presidente, D. Tomás Fuertes Fernández, como empresa del sector que más ha contribuido a éste desarrollo y expansión dentro de la Región de Murcia.

	Indice general	I
	Indice de tablas.....	VI
	Indice de figuras.....	VIII
	Abreviaturas	XII
I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS.....	7
III.	REVISION BIBLIOGRAFICA: INFLUENCIA DEL SACRIFICIO, FAENADO Y ENFRIAMIENTO, SOBRE LA CALIDAD TECNOLOGICA DE LA CARNE.....	11
3.1.	Calidad tecnológica de la carne de cerdo, características y medidas.....	13
	pH.....	20
	Conductividad eléctrica (PQM)	25
	FOP (Fibre Optic Probe)	26
	MQM-Equipment (Meat Quality Marbling).....	28
	GÖFO Meter, EEL y Retrolux	29
3.2.	Factores que influyen en la calidad de la carne de cerdo	30
3.2.1.	Factores <i>ante mortem</i>	30
3.2.1.1.	Ayuno previo al sacrificio	30
3.2.1.2.	Carga de los animales.....	33
3.2.1.3.	Transporte y tiempo de espera para la descarga.....	35
3.2.1.4.	Tiempo de espera en corrales.....	43
3.2.1.5.	Manejo de los animales previo al sacrificio	47
3.2.1.6.	Insensibilización o aturdimiento	52

3.2.1.7.	Sistemas de conducción en mataderos de cerdos	68
	Ganchos pendulares	68
	Perchas de separación	68
	Carril transportador	71
3.2.2.	Factores <i>post mortem</i>	73
3.2.2.1.	Degüello y desangrado del animal	73
3.2.2.2.	Escaldado	76
	Escaldado por inmersión en caldera	76
	Escaldado por pulverización con agua	78
	Escaldado con vapor de agua condensado	79
3.2.2.3.	Desollado	81
3.2.2.4.	Pelado de los cerdos	83
3.2.2.5.	Faenado de la canal	88
3.2.2.6.	Peso y clasificación de las canales	92
	FOM (Fat-o-Meter) y HGP (Hennessy Grading Probe)	92
	DEST (Destron PG-100)	95
	Introscopio y Sonda Ulster	97
	Otras Sondas: KSA y SKG II	97
3.2.2.7.	Enfriamiento de las canales	99
3.2.2.7.1.	<i>Sistemas de enfriamiento</i>	100
	<i>Refrigeración lenta o en reposo</i>	102
	<i>Refrigeración rápida</i>	103
	<i>Refrigeración ultra rápida</i>	106
	<i>Otros sistemas de refrigeración</i>	107
3.2.2.7.2.	<i>Métodos de refrigeración</i>	108
	<i>Refrigeración monofásica</i>	108
	<i>Refrigeración polifásica</i>	109

3.2.2.7.3.	<i>Conservación a temperatura de refrigeración.....</i>	113
	<i>Cambios físicos</i>	114
	<i>Modificaciones químicas y bioquímicas</i>	115
	<i>Modificaciones microbiológicas</i>	116
IV.	ASPECTOS TÉCNICOS DE LAS INSTALACIONES DESTINADAS AL SACRIFICIO DE GANADO PORCINO	119
4.1.	Transporte del ganado porcino	121
4.2.	Estabulación.....	124
4.3.	Sacrificio.....	127
4.4.	Faenado	132
4.5.	Refrigeración	139
V.	ENSAYOS.....	143
5.1.	Caracterización de la calidad en la canal y la carne	145
	Introducción y objetivos.....	145
	Diseño experimental.....	145
5.1.1.	Calidad de la canal y de la carne	147
5.1.2.	Incidencia de carnes PSE, Normal y DFD.....	153
5.1.3.	Influencia del sexo	160
5.1.4.	Influencia del peso de la canal	164
5.1.5.	Influencia de la clase comercial y la conformación de la canal....	170
5.2.	Controles realizados en las diferentes fases de producción.....	182
5.2.1.	Fase previa al sacrificio.....	182
5.2.1.1.	Influencia de las condiciones de estabulación previa al sacrificio de los animales sobre la calidad de la carne.....	182
5.2.1.2.	Anestesia con CO ₂	195
	Introducción y objetivos.....	195
	Diseño experimental.....	195

5.2.1.2.1.	<i>Características funcionales de la planta de anestesia con CO₂</i>	197
	<i>Estabilización de las curvas de estratificación del CO₂</i>	198
	<i>Comportamiento de los animales</i>	201
	<i>Alteración de la curva de CO₂ por corrientes de aire</i>	202
	<i>Alteración de la curva de CO₂ según el animal a aturdir</i>	207
	<i>Alteración de la estratificación del CO₂ según la temperatura de la sala</i>	210
5.2.1.2.2.	<i>Influencia de la anestesia sobre la calidad de la carne</i>	213
5.2.1.2.3.	<i>Estudio comparado entre aturrido eléctrico y CO₂</i>	217
5.2.2.	Fase de sacrificio y faenado.....	222
5.2.2.1.	Predicción de carnes de baja calidad mediante apreciación de la rigidez muscular en una fase temprana del sacrificio	222
	Calidad de las canales que desarrollaron rigidez muscular temprana	227
	Destino comercial de las carnes que desarrollan rigidez muscular.....	231
5.2.2.2.	Evolución de la temperatura superficial de la canal y su influencia sobre los procesos de escaldado y pelado	234
5.2.3.	Fase de enfriamiento de las canales.....	247
5.2.3.1.	Incidencia de un sistema de refrigeración rápida polifásica sobre la temperatura profunda, media y superficial de la canal y la calidad de la carne	248
5.2.3.2.	Efecto de las condiciones de trabajo de la cámara de oreo rápido sobre la temperatura y la calidad de la carne.....	264
5.2.3.3.	Influencia del deshielo de la cámara de oreo rápido sobre la temperatura de la canal y la calidad de la carne	271

VII.	RECOMENDACIONES PRÁCTICAS	279
6.1.	Fase <i>ante mortem</i>	279
6.1.1.	Control de proveedores	279
6.1.2.	Retirada del pienso	282
6.1.3.	Carga de los animales.....	282
6.1.4.	Transporte	283
6.1.5.	Descarga de los animales	284
6.1.6.	Estabulación	285
6.1.7.	Traslado de los animales a la sala de sacrificio.....	286
6.1.8.	Aturdido de los animales.....	287
6.1.8.1.	Aturdido eléctrico.....	287
6.1.8.2.	Aturdido con CO ₂	288
6.1.9.	Sistema de conducción	290
6.2.	Fase <i>post mortem</i>.....	290
6.2.1.	Degüello y desangrado	290
6.2.2.	Escaldado	291
6.2.3.	Pelado	292
6.2.4.	Flagelado, flameado y apurado final.....	293
6.2.5.	Faenado, peso y clasificación de canales	293
6.2.6.	Enfriamiento de las canales.....	294
6.3.	Calidad de la carne.....	298
VIII.	CONCLUSIONES.....	301
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	307
X.	RESUMEN / SUMMARY	331

TABLE OF CONTENTS

	General contents.....	I
	Tables	VI
	Figures.....	VIII
	Abbreviations	XII
I.	INTRODUCTION.....	1
II.	OBJECTIVES	7
III.	BIBLIOGRAPHIC REFERENCES: INFLUENCE OF SLAUGHTER, HANDLING AND CHILLING, ON TECHNOLOGICAL MEAT QUALITY	11
3.1.	Technological quality of pork meat, characteristics and measures.....	13
	pH.....	20
	Electric conductivity (PQM).....	25
	FOP (Fibre Optic Probe).....	26
	MQM-Equipment (Meat Quality Marbling).....	28
	GÖFO Meter, EEL and Retrolux	29
3.2.	Factors that influence in pork quality meat	30
3.2.1.	<i>Ante mortem</i> factors	30
3.2.1.1.	Pre-slaughter fasting period	30
3.2.1.2.	Loading of animals.....	33
3.2.1.3.	Transport and holding period before unloading.....	35
3.2.1.4.	Lairage time in the abattoir	43
3.2.1.5.	Pre-slaughter handling of animals.....	47
3.2.1.6.	Anaesthesia or stunning	52

3.2.1.7.	Conduction systems in pork slaughterhouses.....	68
	Pendulum hooks	68
	Hangers of separation	68
	Rail transporters.....	71
3.2.2.	<i>Post mortem</i> factors	73
3.2.2.1.	Sticking and bleeding out of animals	73
3.2.2.2.	Scalding	76
	Immersion scalding tank (horizontal scalding)	76
	Spray scalding tank (vertical scalding).....	78
	Condensation scalding system.....	79
3.2.2.3.	Skinning.....	81
3.2.2.4.	Dehairing of pigs	83
3.2.2.5.	Handling of carcass	88
3.2.2.6.	Weight and carcass classification	92
	FOM (Fat-o-Meter) and HGP (Hennessy Grading Probe).....	92
	DEST (Destron PG-100)	95
	Introscope and Ulster probe.....	97
	Other probes: KSA y SKG II.....	97
3.2.2.7.	Chilling pig carcasses	99
3.2.2.7.1.	<i>Chilling systems</i>	100
	<i>Slow chilling</i>	102
	<i>Rapid chilling (batch or quick cooling systems)</i>	103
	<i>Ultra rapid or shock chilling</i>	106
	<i>Other chilling systems</i>	107
3.2.2.7.2.	<i>Chilling methods</i>	108
	<i>Conventional chilling (mono-stage)</i>	108
	<i>Chilling in various stages</i>	109

3.2.2.7.3.	<i>Preservation at cooling temperatures</i>	113
	<i>Physic changes</i>	114
	<i>Chemical and biochemical modifications</i>	115
	<i>Microbiological modifications</i>	116
IV.	TECHNICAL ASPECTS OF INSTALLATIONS	
	EARMARKED TO PORK SLAUGHTER	119
4.1.	Transport of pig cattle	121
4.2.	Lairage time	124
4.3.	Slaughter	127
4.4.	Handling	132
4.5.	Chilling	139
V.	TESTS	143
5.1.	Carcass and meat quality characterisation	145
	Introduction and objectives	145
	Experimental design.....	145
5.1.1.	Carcass and meat quality.....	147
5.1.2.	Incidence of PSE, Normal and DFD meats.....	153
5.1.3.	Influence of sex	160
5.1.4.	Influence of carcass weight.....	164
5.1.5.	Influence of objective and subjective commercial carcass classification.....	170
5.2.	Controls carried out in several phases of production	182
5.2.1.	Pre-slaughter phase	182
5.2.1.1.	Influence of lairage conditions before animal slaughter on meat quality	182
5.2.1.2.	CO ₂ anaesthesia.....	195
	Introduction and objectives	195
	Experimental design.....	195

5.2.1.2.1.	<i>Functional characteristics of CO₂ stunning plant</i>	197
	<i>Stabilisation of CO₂ stratification curves</i>	198
	<i>Animals behaviour</i>	201
	<i>Alteration of CO₂ curve by air flows</i>	202
	<i>Alteration of CO₂ curve depending on animal to stun</i>	207
	<i>Alteration of CO₂ stratification depending on temperature room</i>	210
5.2.1.2.2.	<i>Influence of anaesthesia on meat quality</i>	213
5.2.1.2.3.	<i>Comparative study between electric stunning and CO₂</i>	217
5.2.2.	Slaughter and handling phases	222
5.2.2.1.	Assessing of low quality meats by means of subjective evaluation of fast rigor development in early slaughter phase	222
	Quality of carcass that showed early rigor development	227
	Commercial destination of meats with early rigor development	231
5.2.2.2.	Evolution of surface carcass temperature and their influence on scalding and dehairing process	234
5.2.3.	Phase of chilling carcasses	247
5.2.3.1.	Incidence of a quick cooling system with various stages on internal, half and surface carcass temperature and quality meat	248
5.2.3.2.	Effect of work conditions in quick pre-chilling cooler on temperature and quality meat	264
5.2.3.3.	Influence of defrost system in quick pre-chilling cooler on temperature carcass and quality meat	271

VII.	PRACTICES RECOMMENDATIONS	279
6.1.	<i>Ante mortem</i> phase	279
6.1.1.	Control of suppliers	279
6.1.2.	Withdraw of food	282
6.1.3.	Load of pig cattle	282
6.1.4.	Transport	283
6.1.5.	Unload of pig cattle	284
6.1.6.	Lairage.....	285
6.1.7.	Moving of pigs to slaughter plant	286
6.1.8.	Animals stunning	287
6.1.8.1.	Electric stunning.....	287
6.1.8.2.	Anaesthesia with CO ₂	288
6.1.9.	Conduction system	290
6.2.	<i>Post mortem</i> phase	290
6.2.1.	Sticking and bleeding out.....	290
6.2.2.	Scalding.....	291
6.2.3.	Dehairing.....	292
6.2.4.	Brushing, singeing and final washed	293
6.2.5.	Handling, weight and classification carcasses	293
6.2.6.	Chilling of pork carcass	294
6.3.	Meat quality	298
VIII.	CONCLUSIONS	301
IX.	BIBLIOGRAPHY	307
X.	RESUME / SUMMARY	331

Tabla 1.	Evolución de la producción de elaborados cárnicos de cerdo.....	4
Tabla 2.	Evolución simultánea de la degradación de glucógeno, formación de ácido láctico y disminución de pH tras el sacrificio	22
Tabla 3.	Valores umbrales de pH para la clasificación de carnes PSE, Normal y DFD en el músculo Semimembranoso.....	24
Tabla 4.	Influencia del tiempo de ayuno y el periodo de reposo sobre la calidad de la carne	33
Tabla 5.	Influencia del tiempo de reposo sobre la evolución del pH en el músculo <i>Semimembranossus</i>	45
Tabla 6.	Parámetros de calidad de la canal y la carne	148
Tabla 7.	Estudio comparado de la calidad de la canal y la carne	154
Tabla 8.	Correlación de Pearson y nivel de significación entre las distintas variables estudiadas	158
Tabla 9.	Calidad de la canal y la carne según el sexo	160
Tabla 10.	Media y desviación estándar del pH y la CE según el peso de la canal.....	165
Tabla 11.	Clase comercial de la canal según el peso.....	169
Tabla 12.	Porcentaje magro de la canal según el peso	170
Tabla 13.	Características de la canal según la clase comercial S-EUROP.....	171
Tabla 14.	Calidad de la carne según la clase comercial S-EUROP	173
Tabla 15.	Características de la canal según la conformación EBRM	176
Tabla 16.	Calidad de la carne según la conformación EBRM	178
Tabla 17.	Valores medios de las variables relacionadas con la estabulación y calidad de la carne	185
Tabla 18.	Valores medios de las variables relacionadas con el duchado de los animales.....	190
Tabla 19.	Concentración de CO ₂ en el túnel de anestesia (%).....	198

Tabla 20.	Concentración de CO ₂ en el túnel de anestesia.....	201
Tabla 21.	Concentración de CO ₂ con el equipo de anestesia en reposo	204
Tabla 22.	Concentración de CO ₂ con el equipo de anestesia en movimiento	205
Tabla 23.	Evolución de la temperatura del CO ₂ según la temperatura ambiental.....	211
Tabla 24.	Indicadores de calidad en la carne tras la anestesia con CO ₂	215
Tabla 25.	Indicadores de calidad en la carne según la anestesia	218
Tabla 26.	Indicadores de calidad según el estado de rigidez muscular	228
Tabla 27.	Indicadores de calidad según el destino comercial de la canal	232
Tabla 28.	Tiempos y puntos de medida desde el degüello hasta el eviscerado	236
Tabla 29.	Registro de las condiciones ambientales, duración de procesos y temperatura externa de las canales, para diferentes ritmos de sacrificio.....	238
Tabla 30.	Valores medios de temperatura de la canal según el ritmo de sacrificio.....	239
Tabla 31.	Valores medios de temperatura de la canal según el punto de medida	242
Tabla 32.	Condiciones de trabajo en las cámaras frigoríficas	249
Tabla 33.	Número de medidas, media y desviación estándar de la temperatura profunda, pH y CE de la canal.....	261
Tabla 34.	Media y desviación estándar de la temperatura, pH y CE de la canal	254
Tabla 35.	Estudio de variables en el oreo rápido	267
Tabla 36.	Correlación de Pearson y nivel de significación.....	269
Tabla 37.	Valores medios de temperatura y CE en la canal	274

Figura 1.	Evolución de la producción de carne	3
Figura 2.	Evolución del pH según la calidad de la carne (Normal, PSE, DFD y Ácida)	23
Figura 3.	Formas de aplicación de la sonda FOP	27
Figura 4.	Evolución del ritmo cardíaco en las fases de carga, transporte y descarga de los animales, durante transportes reducidos	41
Figura 5.	Transito óptimo de la capilla a las mangas	49
Figura 6.	Manga de aturdido en rampa y sección transversal de una manga	49
Figura 7.	Sección transversal del Restrainer.....	50
Figura 8.	Evolución secuencial del sistema PIGLIFT	51
Figura 9.	Pinza de aturdido eléctrico solo-cabeza	53
Figura 10.	Posiciones habituales del aturdido eléctrico solo-cabeza.....	55
Figura 11.	Equipo de sujeción Midas con Inarco System para el aturdido automatizado cabeza-pecho de cerdos	56
Figura 12.	Túnel de Anestesiado. Modelo COMPACT	61
Figura 13.	Túnel de Anestesia. Modelos COMBI Y JUMBO.....	62
Figura 14.	Túnel de Anestesia. Modelos Dip-lift ULTRA y Dip-lift JUMBO	63
Figura 15.	Diseño de una línea de sacrificio porcino	69
Figura 16.	Sistema de ganchos pendulares	70
Figura 17.	Camal o percha de separación para el faenado del porcino	70
Figura 18.	Transportadores aéreos mecanizados	72
Figura 19.	Cuchillo hueco tipo trocar para sangrado.....	74
Figura 20.	Instalación de escaldado por pulverización con agua	79
Figura 21.	Escaldado con vapor condensado en sistemas Ekstam y Simrishamn.....	80
Figura 22.	Diseño de palas depiladoras tipo E	84

Figura 23.	Cabinas flageladoras	85
Figura 24.	Hornos chamuscadores	87
Figura 25.	Diseño de cabinas para el acabado final	88
Figura 26.	Sistema de despiece primario automático para medias canales de cerdo y posicionado para el corte mediante el Sistema Visión por cámaras.....	91
Figura 27.	Puntos de medida con la sonda FOM	93
Figura 28.	Puntos de medida con la sonda SKG1	98
Figura 29.	Sistema frigorífico por compresión de una fase	101
Figura 30.	Instalación frigorífica de absorción continua, de una etapa.....	102
Figura 31.	Condensador en techo. Aspiración ascendente del aire a ambos lados del condensador y expulsión hacia abajo.....	104
Figura 32.	Condensador en techo. Expulsión del aire a ambos lados del condensador y aspiración ascendente desde abajo	104
Figura 33.	Condensador en pared. Expulsión del aire paralela a los raíles.....	105
Figura 34.	Condensador montado entre raíl y techo	105
Figura 35.	Túnel de choque térmico con compartimento de retención previo	110
Figura 36.	Túnel de choque térmico con partición.....	111
Figura 37.	Diseño de un muelle de descarga para camiones de varios niveles	124
Figura 38.	Diseño de las cuadras de reposo	126
Figura 39.	Diseño del corral cargador	129
Figura 40.	Diseño de la zona de anestesiado.....	130
Figura 41.	Diseño de un túnel de anestesia con CO ₂	132
Figura 42.	Diseño de la sala de sacrificio.....	135
Figura 43.	Diseño de la sala de faenado.....	138
Figura 44.	Diseño de las cámaras frigoríficas	141

Figura 45.	Evolución del peso medio de la canal porcina en la Región de Murcia.....	149
Figura 46.	Evolución del porcentaje magro y el espesor de tocino dorsal de las canales producidas en la Región de Murcia	151
Figura 47.	Porcentaje de carnes Exudativas, Fatigadas y Normales, según el sexo	163
Figura 48.	Porcentaje de carnes PSE y DFD según el peso de la canal	167
Figura 49.	Panículo graso de la canal según la clase comercial S-EUROP.....	172
Figura 50.	Distribución de calidad según los grupos comerciales de clase S-EUROP	174
Figura 51.	Engrasamiento de la canal según la conformación subjetiva.....	177
Figura 52.	Calidad de la carne según la conformación subjetiva EBRM.....	179
Figura 53.	Porcentaje de carnes de baja calidad según el reposo de los animales.....	186
Figura 54.	Incidencia de carnes de baja calidad según la duración del duchado	192
Figura 55.	Evolución de las curvas de estratificación del CO ₂	200
Figura 56.	Influencia de la distribución del CO ₂ en presencia o ausencia de aire	206
Figura 57.	Evolución de la concentración de CO ₂ según el tipo de animal	208
Figura 58.	Concentraciones medias de CO ₂ según la temperatura de la sala.....	211
Figura 59.	Evolución del pH de los músculos en estado de rigidez post mortem	224
Figura 60.	Diferentes grados subjetivos de rigidez muscular.....	226

Figura 61.	Discriminación de carnes normales y de baja calidad en canales que desarrollaron rigidez muscular temprana	229
Figura 62.	Representación esquemática de los tiempos y puntos de medida	237
Figura 63.	Evolución de la temperatura superficial de la canal	240
Figura 64.	Caída térmica durante la refrigeración rápida de las canales.....	252
Figura 65.	Caída térmica según la profundidad del músculo <i>Semimembranossus</i>	255
Figura 66.	Evolución de la temperatura de la canal en sistemas de refrigeración de 3 fases. Cambios en la velocidad de cadena.....	257
Figura 67.	Diseño del oreo rápido. Puntos donde se tomaron los registros.....	266
Figura 68.	Diseño del oreo rápido	273
Figura 69.	Evolución de la temperatura de la canal en el oreo rápido	276
Figura 70.	Evolución de la CE durante el oreo rápido	277
Figura 71.	Porcentaje de carnes exudativas, según las zonas del oreo rápido	278
Figura 72.	Propuesta de diseño de un oreo rápido dividido en secciones con desescarche independiente	297

- A:	Amperio
- a _w :	Actividad de agua
- c/h:	Cerdos o canales hora
- C:	Coulombs
-CE ₂ :	Medida de conductividad eléctrica a 2 h
-CE ₂₄ :	Medida de conductividad eléctrica a 24 h
-CE ₄₅ :	Medida de conductividad eléctrica a 45 min
- cm:	Centímetro
- DFD:	<i>Dark Firm Dry</i>
- EDE:	<i>Etablissement Départemental de L'Elevage.</i>
- FoM:	<i>Fat-o-Meater</i>
- FOP:	<i>Fibre Optic Probe</i>
- h:	Hora
- HR:	Humedad relativa
- Hz:	Hertzio
- ITP:	<i>Institut Technique du Porc</i>
- kg:	Kilogramo
- km:	Kilometro
- m:	Metro
- M±D:	Media ± Desviación típica
- min:	Minuto
- mm:	Milímetro
- mS:	Milisiemens
- °:	Grado de inclinación o de giro
- °C:	Grado centígrado
- P:	Probabilidad estadística
- pH ₂ :	Medida de pH a 2 h
- pH ₂₄ :	Medida de pH a 24 h
- pH ₄₅ :	Medida de pH a 45 minutos
- pH ₈ :	Medida de pH a 8 h
- pm:	<i>post mortem</i>
- PQM:	<i>Pork Quality Meter</i>
- PSE:	<i>Pale Soft Exudative</i>
- s:	Segundo
- SM:	Músculo semimembranoso
- T ^a :	Temperatura
- Tm:	Tonelada métrica
- V:	Voltio

I. INTRODUCCIÓN

El importante auge experimentado en las últimas décadas por el sector de la carne de porcino, dentro de la industria agroalimentaria, se corresponde por un lado, con un cambio en la orientación ganadera, la cual ha pasado de la tradicional explotación extensiva y familiar a otra de carácter netamente intensiva e industrial, utilizando una tecnología más desarrollada y unas razas más prolíficas y de gran precocidad, que se traducen en inmejorables rendimientos en canal.

Por otro lado, los grandes avances en I+D y la incorporación de tecnología punta a nivel de mataderos, salas de despiece e industrias de transformación de la carne, han permitido mejorar notablemente tanto la calidad, como la producción final de los productos derivados de la carne de cerdo.

Este aumento en los índices de industrialización se ha producido de forma paralela al crecimiento, desarrollo y bienestar, experimentado por la sociedad española en los últimos años, el cual se ha traducido en un importante aumento del consumo de carne y productos derivados, y del gasto.

Basta apuntar que el consumo per cápita de carne en 2000 en España fue de 65,68 kg por persona, con un crecimiento general del 35% respecto al año anterior, para las carnes frescas y de un 6% para las carnes de cerdo (1,7 kg per cápita en 1999). En ese mismo año, el gasto alimentario en los hogares españoles para el sector cárnico fue del 24,1%, con un incremento del 4,8% respecto al año anterior (Cruz y Barreiro, 2001).

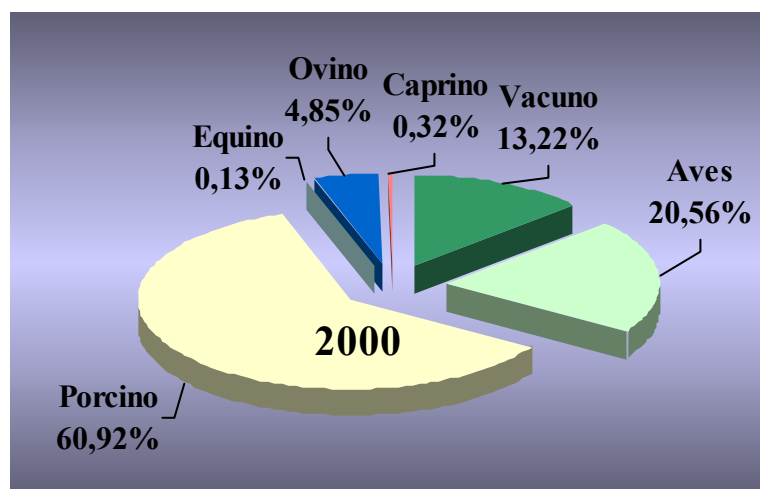
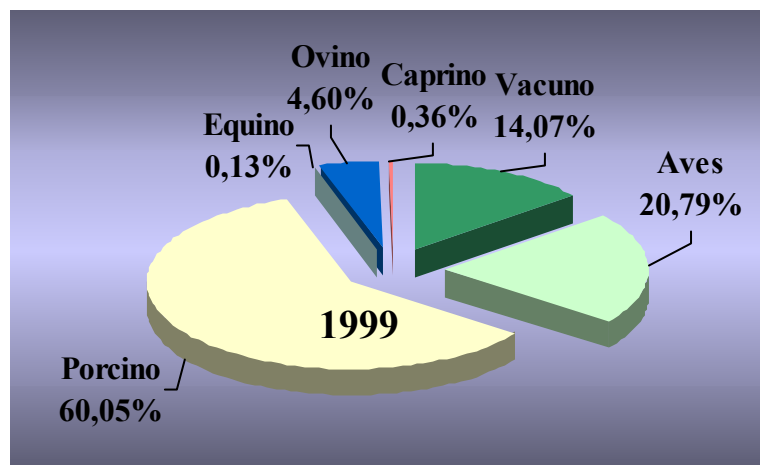
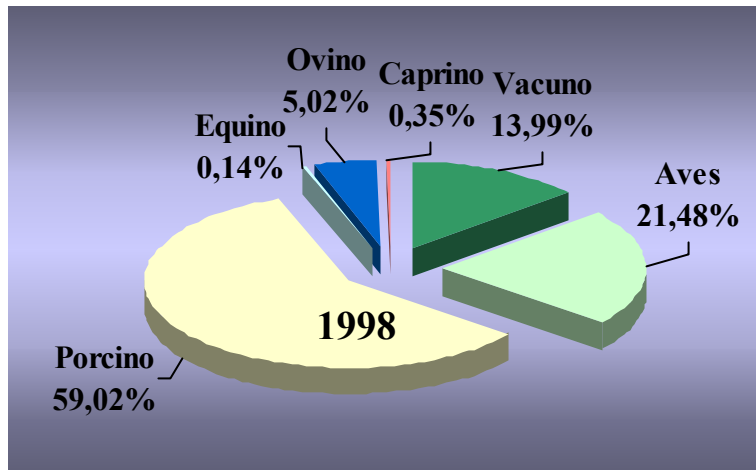
Estamos sin duda ante uno de los sectores industriales, el de la carne, que más importancia tiene en las sociedades desarrolladas, no sólo por su especial crecimiento y grado de tecnificación, sino por los índices económicos que genera y su repercusión en la economía doméstica.

Para hacernos una idea, basta con observar las principales variables económicas del sector cárnico para el año 1997, donde la industria cárnica vendió productos por valor de 1,5 billones de pts, y fue el primer sector en gasto de los hogares en alimentación, con más del 25% del valor de sus compras (García, 1997), o los resultados del ejercicio 1999, con más de 59.000 millones de pts en gastos en inversión de activos materiales y más de 193.000 millones de pts en gastos relativos a las más de 60.000 personas ocupadas en dicho sector, generando unos ingresos aproximados de 1,8 billones de pts (Cruz y Barreiro, 2001).

En España, el sector porcino supone la principal producción de carne, totalizando 2.912.390 Tm de carne en el año 2000, lo cual representa un incremento del 0,7% respecto al año anterior, y más del 60% respecto a la producción total de carne para ese año, que fue de 4.780.424 Tm. Esta elevada producción se consiguió con el sacrificio de más de 30 millones de cerdos, lo cual hace que la balanza comercial exterior en España se decante claramente hacia la exportación (514.691 Tm) frente a la importación (171.004 Tm), considerándose a España una potencia de primer orden en el ámbito Europeo (Cruz y Barreiro, 2001).

En la Figura 1 se observa como la producción de carne de cerdo en los últimos años es claramente superior al resto de especies, siendo además, la única que presenta un incremento moderado con el paso de los años.

Figura 1.
Evolución de la producción de carne (Cruz y Barreiro, 2001).



Otro dato que nos confirma la especial importancia de la tecnificación industrial del sector de la carne de cerdo es el incremento de la producción de elaborados cárnicos que ha tenido lugar en los últimos años, la cual ronda en torno al 40-50% de la carne producida, siendo un fiel reflejo del elevado grado de diversificación tecnológica acontecido en las industrias de transformación (Tabla 1).

Tabla 1.
Evolución de la producción de elaborados cárnicos de cerdo (Tm) (Confecarne; Cruz y Barreiro, 2001).

	AÑO			
	1997	1998	1999	2000
Jamón y paleta curados	182.337	185.000	193.880	200.510
Embutidos curados	165.687	157.000	167.000	169.999
Jamón y paleta cocidos	125.606	123.500	126.558	136.841
Tratados por calor	242.094	243.600	254.562	279.228
Adobados y frescos	127.113	132.800	139.838	145.487
Platos preparados	44.377	45.100	46.048	57.558
Total	880.251	887.000	917.915	989.624

En la producción cárnica, un aspecto fundamental va a ser la tecnología empleada para la obtención de carne en mataderos y salas de despiece, de ahí la necesidad de aplicar técnicas de sacrificio y faenado de los animales, cuyo dominio permita controlar todas aquellas variables y factores relacionados con dichos procesos, que puedan afectar a la calidad de la carne.

La importancia del control de dichas técnicas radica en la posibilidad de que la calidad de la carne se vea seriamente comprometida, como consecuencia de deficiencias en el manejo de los animales antes y después de su sacrificio o bien en la aplicación incorrecta de dichas técnicas.

Así pues, debemos conocer aquellos factores antemortem relacionados con los mecanismos fisiológicos del animal vivo y su adaptación a las distintas condiciones ambientales, y también los factores postmortem relacionados con las reacciones metabólicas acontecidas tras el sacrificio, de cuya incidencia y repercusión dependerá en definitiva, la calidad final de la carne, y en el que juega un papel determinante el proceso tecnológico a utilizar tras el sacrificio del animal.

También parece clara la necesidad de caracterizar la materia prima mediante el uso en línea de sacrificio de técnicas instrumentales que permitan valorar de forma rápida y sencilla la aptitud tecnológica de la canal, para someter a la carne al destino para el cual resulte más adecuada, ya sea en fresco, o bien, como producto transformado (cocidos, curados, fermentados, etc.).

En consecuencia, resulta necesario optimizar el proceso tecnológico de sacrificio con el objeto de poder mejorar las condiciones de trabajo implantadas en línea de matanza, obtener canales de forma más higiénica y productos tecnológicamente más competitivos, al aumentar sus índices de calidad y de producción. En definitiva, la tecnología utilizada en matadero debe adaptarse lo mejor posible a los objetivos para los cuales han sido diseñados, que no son otros que mejorar la calidad higiénica y tecnológica de la canal y sus productos finales.

II. OBJETIVOS

Los objetivos planteados en el presente trabajo han sido los siguientes:

1. Estudio detallado del proceso de matanza y obtención de canales en un matadero industrial porcino de gran capacidad, estableciendo los puntos o procesos en los que se pueden producir mermas de calidad en la carne.
2. Realización de ensayos que permitan evaluar pérdidas de calidad en los procesos tecnológicos aplicados, con el fin de mejorar o reconducir posibles desviaciones de las condiciones óptimas preestablecidas.
3. Proponer acciones correctoras que permitan garantizar el mantenimiento, o la mejora en su caso, de la calidad de la carne durante el sacrificio y la obtención de canales.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

INFLUENCIA DEL SACRIFICIO, FAENADO Y ENFRIAMIENTO, SOBRE LA CALIDAD TECNOLÓGICA DE LA CARNE

En la especie porcina, la calidad de la canal está muy influenciada por diversos factores relacionados con el animal vivo, entre los que destacan factores genéticos como la raza, el sexo, presencia del gen halotano, etc. y factores ambientales como la alimentación, y el manejo *ante mortem*. En relación con este último, es bien conocido que el tratamiento de los animales antes del sacrificio puede conducir de forma irreversible al desarrollo de una serie de deficiencias en la calidad de la carne y/o sus derivados (Diestre, 1991b).

Por su parte, tanto el faenado como el tratamiento frigorífico a que son sometidas las canales en los mataderos e industrias cárnicas, juegan un papel decisivo en la obtención de una calidad de carne determinada. En este sentido, las condiciones del sacrificio de los animales podrían optimizarse con el fin de obtener la calidad de carne más adecuada para cada propósito (Muñoz y Diestre, 1992).

3.1. Calidad tecnológica de la carne de cerdo, características y medidas

El término "calidad" ha evolucionado a lo largo de los últimos años en base a su propia ambigüedad y a las diferentes connotaciones personales que los autores reflejan en respuesta a los cambios sociales. Según Allen (1991), el concepto "calidad" debemos diferenciarlo claramente en función a la fase de producción, industrialización o comercialización en la que se encuentre la materia prima, pues según él, tanto el productor como el industrial y el propio consumidor, entienden el término "calidad" de un modo distinto según su grado de apreciación particular.

En cualquier caso, se puede definir el término "calidad de la carne" de un modo general, como la totalidad de las cualidades positivas que constituyen el valor sensorial, tecnológico, higiénico y nutritivo de la carne (Hofmann, 1987), así como también, como un concepto amplio y variable, pues implica una gradación en la aceptabilidad de la carne por un mercado según su composición, sus características organolépticas y su capacidad para ser transformada en productos cárnicos.

De este modo, la "calidad tecnológica" de la carne, se puede definir como el conjunto óptimo de características anatómicas, morfológicas, sensoriales, higiénicas y bioquímicas que permiten obtener un producto elaborado de buena aceptación por el consumidor y de buen rendimiento económico para la industria, minimizando los defectos de producción y estandarizando las características que configuran el producto final (Monfort, 1989), refiriéndose en último término, a la aptitud para la conservación o la transformación del producto (Girard, 1984).

En cualquier caso, la calidad de la carne se va decantando cada vez más hacia definiciones en términos de salud para el consumidor, aspecto externo en el momento de la venta, textura y sabor una vez cocinada (Muñoz y Diestre, 1992), sin olvidar que un componente de la calidad será siempre el precio, ya que para justificar gastos extras de producción debe existir un mercado dispuesto a pagar cualquier calidad extra exigida.

En esta línea de cambio de comportamiento del consumidor, Wood *et al.* (1998) indican que la calidad de la carne no incluye solo características sensoriales como la ternura o el color, sino también aspectos relacionados a las condiciones de producción animal en relación con su bienestar, el impacto sobre el medio ambiente y, por supuesto, la seguridad alimentaria en relación con la transmisión de enfermedades.

En este sentido, según el Departamento de Comercio e Industria del Reino Unido (DTI, 1997), se observa una clara tendencia de los consumidores de los 12 países miembros de la Comunidad Europea durante el periodo 1986-1995, hacia un mayor consumo de carnes blancas, como el porcino y las aves de corral (>10% del consumo anual per capita), frente a las carnes rojas, como ternera y cordero (<7%).

Por último, Wal *et al.*, (1997), además de entender la calidad como una combinación de diferentes propiedades de la carne fresca, concernientes a la aceptación del consumidor y a sus aspectos tecnológicos, matiza en la coexistencia de factores de variación de dicha calidad, como son el componente genético y los efectos producidos el día del sacrificio. En este sentido, el manejo de los animales en los mataderos y los periodos de ayuno juegan un importante papel en la pérdida de calidad del producto final (Warriss *et al.*, 1995; Wal *et al.*, 1995).

En referencia a ello, uno de los más importantes defectos de calidad en la carne de porcino son las denominadas carnes PSE (Pale Soft Exudative). Las carnes PSE se caracterizan por una baja capacidad de retención de agua, un color pálido y una textura blanda, que las hacen poco apetecibles para los consumidores (Topel *et al.*, 1976) e inapropiadas a nivel industrial, al encontrarse importantes pérdidas durante su procesado tecnológico (Arnau *et al.*, 1987; Maggi y Oddi, 1988; Daza y Callejo, 1991).

La consecuencia PSE es característica de algunos animales hipermusculados halotano positivos, sensibles al estrés físico, psíquico o ambiental (Daza y Callejo, 1991), que combinan una caída acelerada del pH muscular tras el sacrificio con temperaturas de la canal todavía muy elevadas (Fernández *et al.*, 1994).

La combinación de una elevada temperatura y una rápida bajada del pH, consecuencia de un acelerado metabolismo *post mortem* de la reserva del glucógeno muscular (30-60 min), conducen hacia la desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares, y a una mayor atracción electrostática, por diferencia de cargas entre los filamentos de actina y miosina (Lawrie, 1998), determinando en la carne una textura más blanda debido a su pérdida de firmeza, una mayor exudación por disminución de la capacidad de retención de agua, una mayor reflexión de la luz por su menor cantidad de mioglobina, y en definitiva, una mayor incidencia de carnes PSE (Bañón, 1996).

La presencia de carnes exudativas en el cerdo está fuertemente condicionada por factores genéticos como la presencia del gen halotano, el cual está asociado con la susceptibilidad hereditaria del Síndrome de Estrés Porcino y altamente representado en las canales de animales mejorados para un mayor desarrollo muscular, como las razas Pietrain y Landrace Belga (Diestre, 1991b). Sin embargo, se ha comprobado que el manejo previo al sacrificio, puede afectar al contenido de glucógeno muscular y en consecuencia al pH (Fernández y Tornberg, 1991) condicionando el desarrollo de carnes PSE en animales normales o resistentes al estrés (Monin *et al.*, 1981; Nielsen, 1981).

Otro factor condicionante de este defecto, son los factores intrínsecos a la constitución muscular del propio animal y así, se sabe que el 70% de los cerdos presentan en sus músculos gran cantidad de fibras blancas ricas en glucógeno pero pobres en mitocondrias y con baja densidad capilar, por lo que deben recurrir hacia la glucólisis anaerobia con mayor frecuencia y liberar niveles de ácido láctico en exceso, condicionando finalmente la aparición de acidosis metabólica (Troeger y Woltersdorf, 1991; Wicke *et al.*, 1991; Essen-Gustavsson *et al.*, 1992).

La importancia que se le atribuye a las carnes PSE, radica en las grandes pérdidas económicas que generan durante su procesado tecnológico, estimadas en unas pérdidas de peso entre un 1-5% en carnes frescas, entre un 2-7% en embutidos y de un 5% en jamones (Daza y Callejo, 1991). Para Arnau *et al.* (1987) las pérdidas de peso en jamón serrano se cifran en un 1,6%, mientras que para Maggi y Oddi (1988), las pérdidas en jamón parmesano aumentarían hasta el 4%.

Estas carnes son menos aptas para su industrialización, puesto que presentan un deficiente color (inapropiado en jamones y fiambres), una CRA muy baja que conduce a una mayor exudación cuando son cocinadas, y también a una mayor solubilización y a una absorción adicional de sal durante la elaboración de jamones, presentando por otro lado, unas características nutricionales, de jugosidad y ternera muy deficientes, consecuencia por un lado, del acortamiento progresivo que sufren los músculos superficiales por una excesiva desecación y por otro, a una mayor y más intensa actividad proteolítica durante el curado (Bañón *et al.*, 1997c).

Además, el uso de carnes PSE para elaborar jamón puede dar lugar a defectos típicos como: la aparición de olores anómalos por proliferación de microorganismos en grietas o desgarros musculares de las piezas comerciales (Laencina *et al.*, 1996), mayor concentración de sal debido a una mayor velocidad de penetración de la misma (Arnau *et al.*, 1995), y aparición de precipitados de tirosina o pintas blancas en los jamones (Arnau *et al.*, 1987).

Las carnes DFD (Dark Firm Dry) se caracterizan porque las reservas de glucógeno muscular de los animales vivos, como consecuencia de un manejo inadecuado, se agotan antes del sacrificio, produciendo poco ácido láctico y en definitiva, un pH muscular final más elevado de lo normal ($\text{pH}_{24} > 6,0-6,2$) (Daza y Callejo, 1991; Diestre, 1991b).

Según Lawrie (1998), las carnes DFD se distinguen porque sus proteínas han sufrido una serie de cambios moleculares que las han llevado a presentar en superficie un predominio de cargas negativas, determinando un mayor grado de repulsión electrostática entre los filamentos de actina y miosina.

Esta repulsión física de los filamentos provoca la presencia de espacios que son rápidamente ocupados por el agua (mayor CRA), y son un impedimento al libre trasiego de oxígeno desde la superficie hasta el centro muscular, con lo que la mioglobina se transformaría en metamioglobina, dando un color más oscuro a la carne.

El rendimiento de estas carnes es mayor (95%) que en el caso de carnes normales (90-92%) debido a la elevada capacidad de retención de agua (EDE e ITP, 1985). Por este motivo, son carnes aptas para ser cocinadas, pues al someterlas a elevadas temperaturas adquieren buena ternura y jugosidad (Daza y Callejo, 1991). Sin embargo, un pH muy elevado en productos curados secos supondría un peligro para el secado debido a su elevada CRA, y un riesgo de putrefacción más rápida al acelerarse el crecimiento bacteriano (Diestre, 1991b).

En los jamones elaborados a partir de carnes DFD se pueden observar defectos típicos como: un aumento del riesgo de putrefacción profunda o “cala” debido al mayor crecimiento de microorganismos, acompañado por la aparición de olores pútridos (Newton y Gill, 1981), deficiencias en la coloración de la pieza por insuficiente formación de nitrosomioglobina al dificultarse la reducción de nitrito a óxido nítrico (Arnau *et al.*, 1992), aumento de precipitación de cristales de fosfato en superficie durante el almacenamiento en refrigeración (Arnau *et al.*, 1987), y deficiencias de la textura como consecuencia de una elevada pastosidad y adhesividad (Guerrero *et al.*, 1992).

Por otro lado, se produce un rechazo por parte de los consumidores de las carnes DFD debido a su color oscuro, alegando que proceden de animales viejos (Wal, 1991), y un rechazo de los productos derivados de estas carnes, como consecuencia de la apariencia brillante de los productos curados manufacturados (Diestre, 1991b).

Por su parte, la presencia de las denominadas carnes ACIDAS está asociada a la existencia de un gen mayor (RN-) con capacidad para modificar el pH final de la carne hacia valores más ácidos de los normales (Naveau *et al.*, 1985). Se ha comprobado que en la raza Hampshire, el gen dominante RN- presenta una proporción mayor que en el resto de razas, y que la presencia del alelo favorable rn+, podría ser la causa del fuerte descenso del Rendimiento Napole (RN), al desarrollarse un mayor poder glicolítico y, consecuentemente, un pH más bajo (<5,4). No obstante, la velocidad de la caída del pH es igual a la carne normal (Monin *et al.*, 1986).

Teniendo en cuenta que el valor de pH a las 24 h del sacrificio es un buen indicativo de los aspectos culinarios y tecnológicos durante el procesado térmico de la carne fresca y el cocido de los jamones, así como del rendimiento final del procesado de éstos productos, y considerando que los bajos valores de pH₂₄ se asocian con menores posibilidades tecnológicas del jamón para cocido, Diestre (1991b) y Muñoz y Diestre (1992), concluyen afirmando que se hace necesario conocer los valores de pH final cuando se trabaja con la raza Hampshire.

Para establecer la calidad de la carne en línea de sacrificio se pueden utilizar distintos instrumentos de medida, de entre los que destacan por su precisión y fiabilidad, el pH-metro y el conductímetro PQM, para los registros de pH y conductividad eléctrica (CE), respectivamente.

También es frecuente el uso de la sonda FOP para el establecimiento de dicha calidad, si bien, su uso está más limitado que los dos aparatos anteriores, dado que para muchos autores ésta sonda necesita mucho tiempo para la estabilidad de sus registros. Existen otros aparatos de medida en línea como son la pistola MQM-Equipment, o los reflectómetros GÖFO Meter, EEL y Retrolux, cuya utilización es poco frecuente en España.

A) pH

De entre los distintos pH-metros existentes en el mercado, destacamos aquellos que utilizan electrodos combinados de penetración, como el pH-metro Crison 507 con electrodo Ingold Xerolyt, ya que por sus características especiales de diseño, son los más recomendados para el registro del pH en la carne. Este aparato está formado por una carcasa de plástico rígida y hermética, con teclado de membrana y pantalla de cristal líquido. La unidad de medida del pH es logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno (H^+), de modo que, cuanto mayor es la concentración de H^+ , tanto menor es el pH.

La medida del pH no solo brinda una especial información sobre las propiedades cualitativas de la carne, sino que es una técnica rápida y relativamente fácil de aplicar. Además, el pH tiene una influencia directa o indirecta sobre el color, la ternura, el sabor, la capacidad de retención de agua y la conservabilidad de la carne (Rübensam, 2000), por lo que de alguna manera, influye también en las características sensoriales y en la aptitud para la transformación de la carne (Pedauyé, 1993).

La velocidad y grado de descenso del pH tras el sacrificio de los animales, determinado por la formación de ácido láctico en el músculo, está condicionado por la naturaleza y estado del músculo en el preciso momento en que se detiene el flujo de sangre (Rübensam, 2000), si bien, los cambios que acontecen en el músculo después del sacrificio, tienen su origen durante los procesos de aturdimiento de los animales (Judge *et al.*, 1989).

Este descenso del pH tiene una especial influencia sobre las propiedades organolépticas e higiénicas de la carne, así como en su aptitud tecnológica para la transformación, y están especialmente condicionados por los factores genéticos y por el estrés producido en los animales antes y durante la faena (Hofmann, 1988).

El pH del músculo vivo se encuentra algo por encima del punto neutro (pH 7,2). Tras el sacrificio de los animales y en condiciones normales, la ausencia de riego sanguíneo impide la llegada del O₂ y nutrientes al músculo, con lo que la reserva de glucógeno tiene que ser metabolizada por la vía anaerobia para poder mantener la integridad estructural y celular durante unos minutos, produciéndose una mayor cantidad de ácido láctico, y en consecuencia, una disminución gradual y completa del pH en las carnes consideradas como normales (Tabla 2).

Por otro lado, la sucesiva degradación del ATP conduce hacia una acidificación del músculo, al liberarse mayor cantidad de protones, y a la instauración del *rigor mortis* al agotarse paulatinamente la reserva de ATP. Mientras tanto, el agotamiento del ATP es retardado por reacciones de resíntesis a partir de la hidrólisis de compuestos fosforados ricos en energía (fosfocreatina) y glucógeno (Monin, 1983). Por este motivo, para Pedauyé (1993), la velocidad y grado de descenso del pH *post mortem* dependen básicamente de los niveles de glucógeno y compuestos fosforados ricos en energía en el momento del sacrificio, de la velocidad de resíntesis de ATP, y la capacidad tampón del tejido muscular.

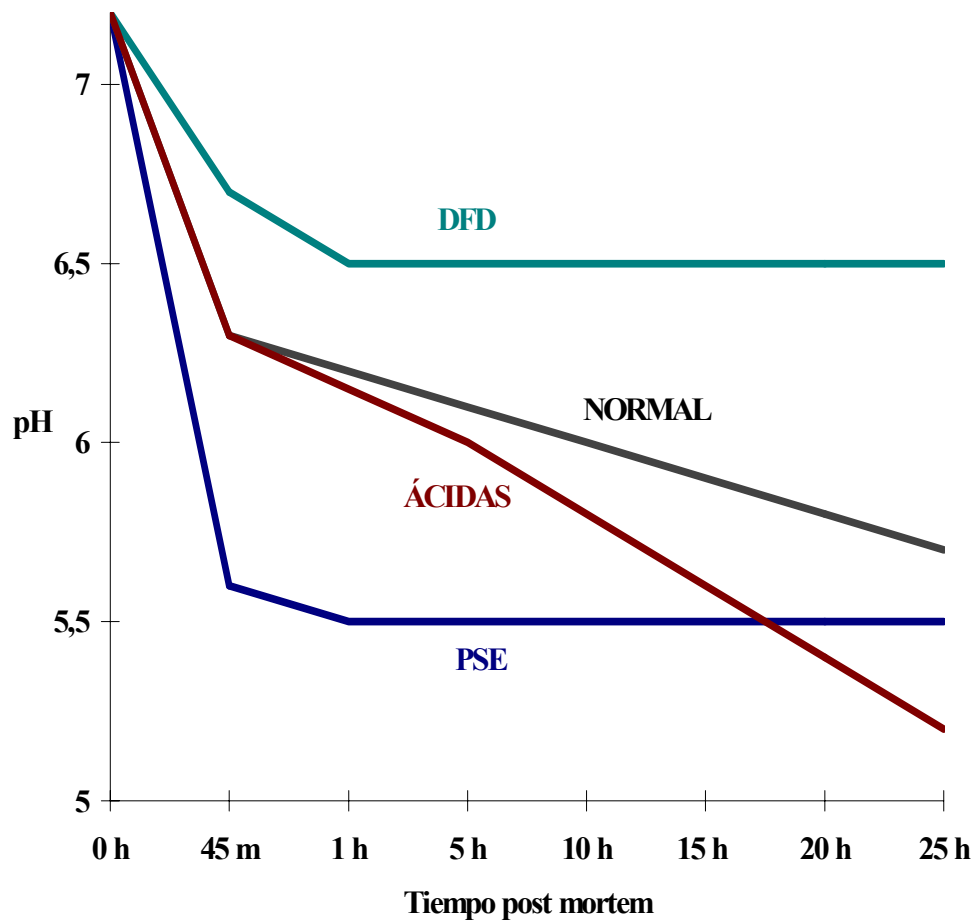
Tabla 2.
Evolución simultánea de la degradación de glucógeno, formación de ácido láctico y disminución de pH tras el sacrificio (Wundram y Schönberg, 1962).

Tiempo post-faena (h)	Medidas realizadas en músculo SM		
	Glucógeno (mg/100gr)	Ácido láctico (mg/100gr)	PH
0,5	714	283	6,82
2	596	360	6,67
4	475	438	6,54
8	308	512	6,33
24	82	743	5,94
48	0	819	5,58
72	0	824	5,58
96	0	798	5,60

Como se observa en la Figura 2, la glucólisis *post mortem* se desarrolla lentamente en condiciones normales, con un descenso del pH más rápido al principio (Enfält *et al.*, 1993) que al final, donde se alcanzan valores de 5,8 ó 5,3 en el transcurso de 24 h.

Sin embargo, en las carnes PSE el descenso de pH es muy rápido en los primeros 45 min *post mortem*, alcanzando valores por debajo de 5,8 que tienden a estabilizarse entre la primera y cuarta hora *post mortem*, y por el contrario, cuando los animales llegan al sacrificio con deficientes reservas de glucógeno, la caída de pH se estabiliza prácticamente tras el sacrificio, encontrándose valores a las 24 h del sacrificio por encima de 6,2 (carne DFD) (Hofmann, 1988). En las carnes ácidas, el pH se caracteriza por una lenta caída al principio, similar a la caída sufrida por las carnes normales (Monin *et al.*, 1986), y una caída rápida durante las primeras 3-4 h *post mortem*, hasta valores inferiores a 5,5 (Monin y Sellier, 1985; Naveau, 1986).

Figura 2.
Evolución del pH según la calidad de la carne (Normal, PSE, DFD y Ácida).



Existen discrepancias entre los autores para establecer el umbral de pH por el que se clasifique la calidad de la carne (Tabla 3).

Muchos de ellos parecen estar de acuerdo en reconocer que la medida de pH₄₅ es la más apropiada para clasificar carnes PSE, así como los registros de pH₂₄ para identificar carnes DFD (Hofmann, 1988; Diestre, 1991b; Barton-Gade, 1991; Kanda *et al.*, 1992; Novelli *et al.*, 1993), sin embargo, en los últimos años la medida de pH₂ parece estar desbancando al pH₄₅ a la hora de establecer dicha clasificación.

Tabla 3.
Valores umbrales de pH para la clasificación de carnes PSE, Normal y DFD en el músculo Semimembranoso.

	PSE		NORMAL		DFD	
	pH ₄₅	Ph ₂₄	pH ₄₅	pH ₂₄	pH ₄₅	pH ₂₄
Hofmann, 1988	<5,8			5,5		>6,2
Sjöblom y Lundström, 1989	<5,8			5,3-5,8		
Brown, 1992	5,92	5,42	6,29	5,44	6,41	6,2
García, 1992	5,65	5,81	6,25	5,84	6,37	6,44
Kanda y col., 1992	5,35		6,44	5,57	6,64	6,43
Garrido y col., 1992	≤5,6		>5,6			>6,2
Chizzolini y col., 1993	<6,0					>6,2
Novelli y col., 1993	<6,0					>6,2
Pedauyé, 1993	5,34	5,54	6,12	5,69	6,60	6,17
Garrido y col., 1994b	<5,8					>6,2
Arnau y col., 1995	<6,0					>6,2
Bañón, 1996	<5,8					>6,2
Coma y Piquer, 1999	pH ₂ ≤5,8					>6,0
Tabilo y col., 1999	pH ₂ ≤5,8					>6,0
Batlle y col., 2000	pH ₂ <5,8					>5,8*

*Para carnes RFN (rojas, firmes y no exudativas)

B) Conductividad eléctrica (PQM)

Entre los conductímetros portátiles que existen en el mercado el más empleado es el denominado Pork Quality Meter (PQM) desarrollado por la firma Alemana Intek (Aichach, Munich). Se trata de un equipo de dimensiones reducidas para facilitar su manejo en línea de sacrificio, formado por una empuñadura plástica, un plato electrónico en la parte posterior, con un display digital de cristal líquido, un botón de control de carga y un botón para toma de medidas, y un bloque de testaje de donde salen dos electrodos de acero de 6 mm de diámetro, con una longitud de 70 mm y una separación de 15 mm entre ambos. El peso total es de 520 gr, y la unidad de medida se expresa en milisiemens/cm (mS/cm). Para el calibrado del aparato se cuenta con un bloque patrón que permite ajustar el valor a $5 \pm 0,1$ mS/cm.

La medida de conductividad eléctrica (CE) permite determinar los cambios en la resistencia y capacitancia de la membrana muscular (Oliver, 1991; Muñoz y Diestre, 1992), basándose en la diferente permeabilidad de las membranas celulares y la distribución relativa de los electrolitos (Troeger y Woltersdorf, 1987; Novelli *et al.*, 1993), mediante la determinación de los valores de CE de los líquidos extracelulares ricos en electrolitos (Novelli *et al.*, 1993).

Con este fin, ciertas propiedades eléctricas, tales como la conductividad o el factor de disipación, pueden ser usadas para describir las propiedades estructurales de los tejidos animales, y particularmente, para la detección de músculos PSE (Pfützner *et al.*, 1988). El valor de conductancia de una solución de electrolitos depende de la naturaleza y la concentración del electrolito, de la forma geométrica del conductor y de la temperatura, con la cual guarda una relación directa, aumentando el valor de la conductancia con la temperatura (Novelli *et al.*, 1993).

La medida de la CE está especialmente indicada en la detección de carnes PSE, dado que permite estimar la calidad de la carne a partir del estado de las proteínas (Bañón, 1996). En el músculo PSE tiene lugar, justo después del sacrificio, una anticipada degradación de las funciones de barrera de las membranas celulares, provocando por un lado, un aumento de los espacios extracelulares en detrimento de los intracelulares, y por otro, una mayor capacidad en el transporte iónico a través de la membrana, lo que determina en conjunto, un aumento de la CE de la membrana (Swatland, 1980; Pfützner y Fialik, 1982) y la reflectancia (Swatland, 1987).

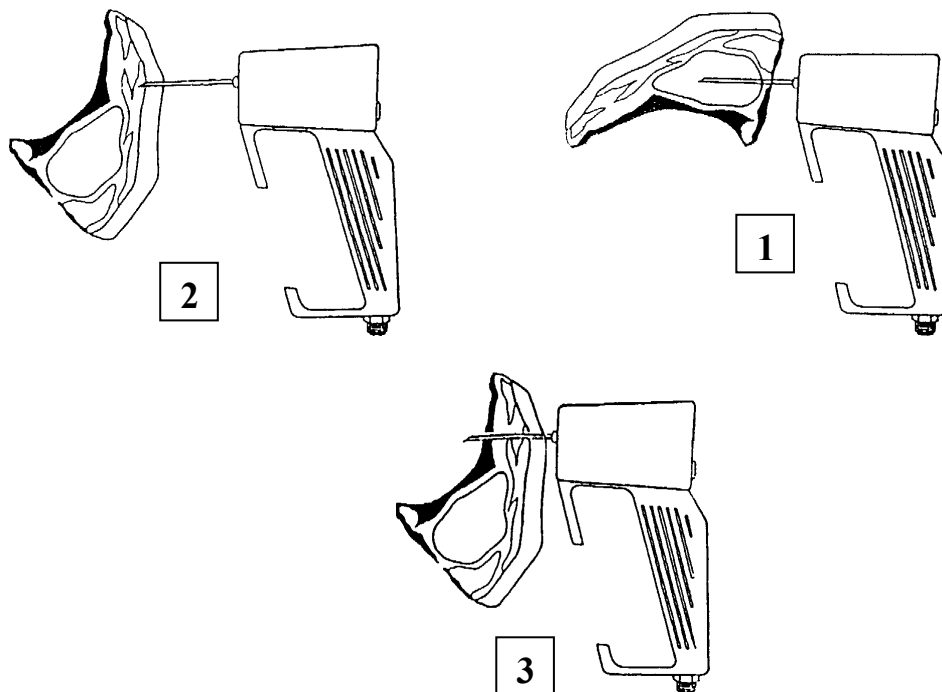
Por este motivo, para muchos autores la medida de CE sería la más apropiada para detectar carnes PSE (Chizzolini *et al.*, 1993; Kauffman *et al.*, 1993; Álvarez y Torre, 1996), a pesar de que a veces, valores altos de CE no se asocian con una disminución brusca del pH (Bañón, 1996), y en cambio, sería poco eficaz para detectar carnes DFD (Warriss *et al.*, 1991; Pedauyé, 1993). De esta manera, resulta conveniente utilizar la medida de CE a partir de 1-2 h *post mortem* para determinar carnes exudativas (Álvarez y Torre 1996; Bañón *et al.*, 1996), estableciendo como umbral para clasificar carnes mPSE y PSE, valores entre 4 y 6 mS/cm y >6 mS/cm, respectivamente (Gispert *et al.*, 2000).

C) FOP (Fibre Optic Probe)

La sonda FOP está constituida por una empuñadura plástica con conexión para la recarga de una batería interna, un bloque de testaje con los botones de ajuste para el calibrado, set control y delta control, un display digital de cristal líquido y un botón para la toma de medidas. Al accionar el botón se activa una lámpara de filamentos de tungsteno, dirigiendo un haz de luz monocromática a través de una mirilla de 3 mm de diámetro, al interior de la carne, el cual es reflejado y conducido a un detector de medición.

Para la correcta toma de medidas (Figura 3), la sonda debe estar en contacto permanente con el músculo (1), teniendo la precaución de que ésta no contacte con tejido graso (2, registros muy altos) o con bolsas de aire (3, registros muy bajos).

Figura 3.
Formas de aplicación de la sonda FOP.



Esta sonda fue desarrollada en los laboratorios Bristol (Institut Food Research) por MacDougall y Jones (1975), y se caracteriza por medir los valores de translucidez u opacidad del músculo, esparciendo un haz de luz monocromática con una longitud de onda simple (900 nm) que reduce al mínimo la absorción de la luz por parte de la mioglobina interfiriendo mínimamente con ésta (Zert y Polack, 1982a; MacDougall, 1984a; Hansson y Lundström, 1989; Diestre *et al.*, 1990; Muñoz y Diestre, 1992; Novelli *et al.*, 1993).

Existe cierta controversia por parte de los autores en establecer un papel relevante a la sonda FOP en la predicción de la calidad en la carne de cerdo. Monin *et al.* (1984), manifestaban que el FOP era una sonda robusta y fácil de usar, si bien, no proporcionaba una estimación adecuada de la calidad de la carne, decantándose por la medida del pH para la estimación de dicha calidad. En cambio MacDougall (1984b), establece que la sonda FOP puede ser usada como una alternativa al pH en la determinación de las carnes PSE y DFD.

Tarrant y Long (1986), encontraron que los valores de FOP obtenidos a los 35 min *post mortem* no fueron significativos para la predicción de carnes PSE. Warriss *et al.* (1989) concluyen que la sonda FOP podría ser un sistema de medida valioso, pero no es lo suficientemente precisa como para poder ser usada en sistemas de control. Para Murray *et al.* (1989) en cambio, los valores registrados por la sonda FOP, en comparación a los de la sonda PQM, dieron una estimación de calidad de la carne ligeramente superior.

D) MQM-Equipment (Meat Quality Marbling)

Este equipo fue desarrollado en Dinamarca y se trata de una pistola Unifom con una sonda óptica que emite un haz de luz monocromática en la región próxima al infrarrojo (Clausen, 1986; Barton-Gade y Bejerholm, 1989).

La sonda posee un programa especial que analiza los perfiles de reflectancia muscular y permite estimar en la misma línea de sacrificio, la capacidad de retención del agua (por determinación de las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares) y el porcentaje de grasa intramuscular, así como también, poder detectar defectos típicos de la carne, como son las formas PSE y el marmoreado (Muñoz y Diestre, 1992).

Barton-Gade y Bejerholm (1989), comprobaron que los resultados obtenidos con el equipo MQM en línea de sacrificio, tras utilizar perfiles de reflectancia de 940 nm y una profundidad de penetración de la sonda de 10 cm, eran poco indicativos del problema PSE en carne, y que, tanto las medidas hechas a las 2 h del sacrificio como al día siguiente, eran suficientemente significativas y podían ser utilizadas para la detección de carnes PSE.

Los cambios estructurales que conducen hacia la formación PSE, progresan en toda su extensión y amplitud a partir de 1-2 h tras el sacrificio, coincidiendo con la fase bioquímica *post mortem* que determina los cambios estructurales del músculo en carne, siendo posible distinguir entonces, que canal desarrollará carnes PSE (Swatland, 1981).

E) **GÖFO Meter** (Alemania), **EEL** (U.K.) y **Retrolux** (Francia)

Estos reflectómetros fueron diseñados para medir el color de la carne, a través de una fuente monocromática de luz emitida sobre la superficie de cortes expuestos de la canal, por lo que su uso no se hace operativo en la misma línea de sacrificio. Sin embargo, para poder optimizar su uso, la mayoría de estos valores son relacionados con otros parámetros importantes en la estimación de la calidad de la carne. Así, el valor registrado con el GÖFO Meter está relacionado de modo positivo con el pH₄₅ y los obtenidos con el EEL lo hacen de modo negativo (Muñoz y Diestre, 1992).

3.2. Factores que influyen en la calidad de la carne de cerdo

3.2.1. Factores *ante mortem*

La calidad de la carne está influenciada por factores genéticos y numerosos factores ambientales que contribuyen, de alguna manera, a que esta disposición genética se manifieste en forma de marcadas características tecnológicas y organolépticas, en unos casos, o bien en forma de importantes deficiencias de calidad, en otros casos.

3.2.1.1. Ayuno previo al sacrificio

Las razones más importantes para la retirada del pienso de los cerdos en las granjas se justifican con una baja mortalidad durante el transporte y una mayor reducción de problemas asociados con el manejo de intestinos repletos en el matadero (Eikelenboom, 1988). Por contra, si los animales se encuentran recién alimentados, suelen ser frecuentes las muertes en el transcurso de dicho transporte, más aún si se produce durante épocas de calor o si los animales son susceptibles al estrés (Tarrant, 1989), ya que se ha comprobado que el estómago lleno puede reducir el diámetro de la vena cava, empeorando el retorno venoso y dificultando el avance circulatorio (Warriss, 1994), agravándose el proceso al favorecerse la aspiración del propio vomito del animal (Guise, 1987).

Gispert *et al.* (1996), observaron una tasa de mortalidad elevada durante el transporte en animales que habían sido sometidos a periodos de retirada de pienso inferiores a 12 h y superiores a 18 h antes de la carga, frente a cerdos con ayunos comprendidos entre 12 y 18 h, estableciendo tal y como apunta Chevillon (1994), este periodo de tiempo como el más recomendable para evitar bajas durante el transporte.

El uso de estos periodos de ayuno permiten reducir el estrés durante el presacrificio, a la vez que incrementar la calidad de la carne (Gispert *et al.*, 2000). Además, Tarrant (1989) comprobó que alimentar a los animales durante las 10 h anteriores al sacrificio suponía un gasto innecesario, pues no se traducían en una ganancia de peso en la canal, y además, se incrementaba el riesgo de propagación de *Salmonella* durante la evisceración posterior, observándose pérdidas de rendimiento en la canal cuando se superaban las 18 h desde la retirada del pienso.

Warriss (1994), recomendaba unos periodos de retirada del pienso entre 4 y 12 h antes de los procesos de carga de los animales, si bien, Bradshaw y Hall, (1996) sugieren que alimentar a los cerdos en las 4 horas anteriores a ser transportados puede ser un intervalo demasiado corto como para prevenir la aparición del vómito durante el mismo.

Jones *et al.* (1985), realizaron estudios de retirada del pienso en un intervalo de 17 h antes del sacrificio, y observaron modificaciones en ciertos parámetros de calidad de la carne como el color, la firmeza y las pérdidas por goteo, pero no encontraron incrementos de carnes DFD, por lo que concluyeron determinando que el periodo de tiempo entre la retirada del pienso y el sacrificio, fuese el mínimo posible, para evitar pérdidas en el peso de la canal.

El periodo de retirada del pienso es un parámetro a tener en cuenta por su relación con el grado de amplitud de caída del pH a las 24 h del sacrificio de los animales, y su posible implicación en el desarrollo de carnes PSE. En este sentido, ciertos atributos de calidad en la carne de porcino, como el color o la capacidad de retención de agua, presentan una gran dependencia con el grado de amplitud de caída del pH *post mortem* (Monin, 1988). De este modo, los registros de pH₂₄ pueden indicar distintos valores en función al grado de modificación del intervalo entre la última toma de alimento y el sacrificio del animal.

Warriss (1982), encontró que el pH₂₄ muscular se incrementaba proporcionalmente al aumentar el periodo de retirada del pienso (superior a 50 h) antes del sacrificio, pero este incremento no fue suficiente para explicar la aparición de carnes DFD, y de igual modo, Troeger (1996a) observó en animales con ayunos superiores a 24 h, un aumento del pH₂₄ de la musculatura del jamón, sin que ello fuese suficiente para catalogarla como DFD.

Respecto a la implicación del periodo de retirada del pienso sobre el desarrollo de carnes PSE, muchos autores afirman que alimentar a los animales antes de llevarlos al matadero conlleva importantes pérdidas de calidad en la carne. En este sentido, Eikelenboom *et al.* (1989; 1991) han podido comprobar una gran reducción de carnes PSE tras periodos de ayuno superiores a 24 h antes del transporte, recomendando periodos de ayuno entre 16 y 24 h para minimizar el efecto de las carnes PSE, y no superiores a 24 h para contrarrestar el desarrollo de carnes DFD.

Calvar y Pellois, (1987), encontraron niveles bajos de carnes exudativas en cerdos sometidos a periodos de ayuno de 24 h o más, e incrementos de dicho defecto conforme disminuye el reposo en cerdos que han sido alimentados antes de salir hacia el matadero (Tabla 4).

Sin embargo, Fischer *et al.* (1988), comprobaron que los periodos de ayuno superiores a 72 h antes del sacrificio no suponían una solución al problema de las carnes PSE, a la vez que se producía un incremento de la incidencia en carnes DFD y de pérdidas de peso en la canal.

Tabla 4.
Influencia del tiempo de ayuno y el periodo de reposo sobre la calidad de la carne (Calvar y Pellois, 1987).

	Reposo	Calidad de la carne (%)	
	(h)	PSE	DFD
Ayuno desde el día anterior	0	7,8	2,9
	2	5,8	17,0
	4	1,9	20,2
Alimentados antes de salir hacia el matadero	0	13,1	3,4
	2	13,1	10,3
	4	4,0	6,2
	24	2,5	7,4

3.2.1.2. Carga de los animales

La carga de los animales en los camiones para su traslado hasta el matadero supone una de las fases más estresantes y de mayor esfuerzo para los animales, los cuales tienen que pasar de un lugar amplio y cómodo a otro de espacio reducido y que le es totalmente desconocido (Faucitano, 1998). En este sentido, Troeger (1996a), encontró que los mayores rangos de estrés físico y emocional se presentaron en los procesos de carga de los animales tras hacerlos subir por rampas inclinadas.

El uso de rampas para la carga de grupos reducidos de animales y la inevitable manipulación a que son sometidos por el hombre, provoca grados de estrés mayores que cuando se usan cargadores hidráulicos (Faucitano, 1998), de modo que los animales ofrecen resistencia a subir las rampas de acceso a los camiones, sobre todo si éstos están poco iluminados (Brown *et al.*, 1993).

Además, durante los procesos de carga se produce un incremento del ritmo cardíaco y temperatura corporal, conforme aumenta el ángulo o gradiente de inclinación de las rampas utilizadas, siendo en cualquier caso, menor que cuando se utilizan cargadores hidráulicos (Fischer, 1996).

Es por ello, que se tenga especial interés en mejorar las condiciones de carga de los animales utilizando cargadores hidráulicos o, en su defecto, suaves rampas con ángulos máximos de inclinación de 15°-20° (Tarrant, 1989), para evitar en la medida de lo posible, que los animales lleguen al matadero excesivamente estresados y fatigados tras el viaje (Calvar y Pellois, 1987). En tal caso, para facilitar la carga, dichas rampas deben permitir el paso de 2 ó 3 cerdos a la vez, estar construidas con material antideslizante y, en caso necesario, equipadas con protecciones laterales, debiendo permanecer el camión bien iluminado durante la carga de los animales.

Costa *et al.* (1996), estudiaron el efecto del estrés producido por los sistemas de carga sobre el metabolismo muscular, y pudieron comprobar una gran incidencia de carnes PSE, además de hemorragias en miembros anteriores, en cerdos cargados mediante rampas (11,8% y 12,5%, respectivamente) frente a cerdos cargados con sistemas hidráulicos (8,8% y 5,8%, respectivamente).

Respecto al tiempo recomendado para llevar a cabo la carga de los animales, Le Jossec (1992) aconseja realizar todo el proceso en menos de 1 h, de modo que mediante la reducción de distancias entre corrales y camiones, o el uso de cargadores hidráulicos, se agilice el manejo y se reduzca el estrés en los animales.

3.2.1.3. Transporte y tiempo de espera para la descarga

El transporte hacia el matadero representa, incluso en las mejores condiciones, un marcado estrés en los animales, cuyos resultados pueden traducirse en apreciables pérdidas de peso vivo, enfermedades e incluso muertes (Wajda y Bak, 1994).

La incidencia del transporte sobre la calidad de la carne está estrechamente relacionada con la distancia recorrida, el tipo de camión, el grado de hacinamiento y las condiciones ambientales que predominen durante el desplazamiento, si bien, los dos factores más importantes a tener en cuenta, son la duración del mismo y el grado de hacinamiento de los animales en los camiones.

En cuanto a la duración del transporte, Wajda y Bak, (1994) comprobó que los transportes superiores a 100 km se correspondían con una disminución de 6 kg de peso vivo en los animales a su llegada al matadero, y del 1,05% en el rendimiento posterior de las canales, frente a los cerdos transportados durante 50 km; observando que los recorridos más bajos (50 km) reportaban una mejor calidad final de la carne que se traducía en una mejor capacidad de retención de agua y unos valores óptimos de pH₄₅.

Los transportes de largo recorrido (>90 km), superiores a 1 h, conllevan una mayor depleción del glucógeno muscular de reserva, lo que determina que los animales lleguen exhaustos y agotados al sacrificio, y en definitiva, los registros de pH₂₄ experimenten un incremento significativo, dando lugar a un mayor desarrollo de carnes DFD (Calvar y Pellois, 1987; Pedauyú, 1993), cuya incidencia puede duplicarse frente a los casos de transporte moderado (Malmfors, 1982).

Dicho fenómeno se agrava cuando estos transportes van asociados a periodos de ayuno superiores a 21 h, favoreciéndose la depleción de más del 90% del glucógeno muscular (Warriss y Bevis, 1987), o cuando las pobres condiciones del mismo no garantizan el bienestar animal (Warriss, 1998a). No obstante, en otros trabajos no existe una evidencia tan clara de que los transportes de largo recorrido (1-4 h) reporten un aumento del pH₂₄ muscular, y en definitiva un mayor desarrollo de carnes DFD (Warriss *et al.*, 1983; 1990a).

Los transportes de moderado recorrido (<90 km) inferiores a 1 h, no suelen propiciar un gran agotamiento en los animales, por lo que se estima que su incidencia en la calidad de la carne, respecto al desarrollo de carnes DFD, no es muy significativo (Calvar y Pellois, 1987; Troeger, 1989; Schöberlein y Lengerken, 1991), observándose además una recuperación de los niveles de ácido láctico acumulado durante la carga de los animales, y en consecuencia, una reducción de la incidencia PSE (Barton Gade, 1984), siendo prácticamente escaso el efecto de estos transportes sobre animales que presentan una genética resistente al estrés (Warriss, 1998a).

Por su parte, los transportes de escaso recorrido realizados en condiciones de manejo inadecuado pueden comprometer el bienestar animal, mucho más que los transportes de largo recorrido en óptimas condiciones (Warriss, 1998a), así, el sacrificio inmediato de los animales después de transportes de muy corto recorrido (10-15 km, o menos), conducen hacia un mayor desarrollo de carnes PSE frente a transportes de mayor recorrido (Fortin, 1989), en gran parte debido a que los procesos de carga, transporte y descarga de los animales se dan en intervalos de tiempo muy pequeños, determinando según Warriss (1998a), una mayor predisposición a la excitabilidad en animales genéticamente más susceptibles.

Un requisito para prevenir el estrés durante el transporte es conseguir una densidad de carga suficiente como para que los animales puedan tumbarse en el suelo de los vehículos y viajar relajados.

Según el Real Decreto 1041/97 de 27 de junio, por el que se establecen las normas relativas a la protección de los animales durante su transporte, y la Directiva Europea 95/29/EC No. L340/17, la densidad de carga en porcinos transportados por carretera o ferrocarril debe garantizar que los animales puedan tumbarse y permanecer simultáneamente de pie en su posición natural, considerándose para ello una densidad de carga en cerdos de 100 kg no superior a los 235 kg/m² (0,425 m²/100 kg de peso), pudiendo incrementarse dicha densidad en función al tamaño, estado físico y raza de los animales, llegando hasta un 20% según la duración del viaje y las condiciones climáticas.

No obstante, este valor de carga se ajusta más a los valores recomendados por Warriss (1994) (0,45 m²/100 kg ó 222 kg m⁻²) y Troeger (1996a) (0,5 m²/110-120 kg ó 220-240 kg m⁻²), siendo a criterio de Warriss *et al.*, (1998a) las densidades de carga excesivamente altas (321 kg m⁻² ó 0,31 m²/100 kg) inaceptables para el transporte de animales al generar mucho estrés en ellos, y las densidades de carga moderadamente altas (281 kg m⁻² ó 0,35 m²/100 kg) solo aconsejadas en aquellos viajes que no superen las 3 h, por la misma razón.

Se ha comprobado que el transporte de animales en vehículos con densidades de carga por encima de los valores recomendados, o lo que es lo mismo, cargar un elevado número de animales por unidad de superficie, afectan de forma negativa sobre la salud y el bienestar animal, al verse favorecido un mayor grado de estrés físico en los animales (Warriss *et al.*, 1998a) que se traduce de forma clara en tasas de mortalidad más elevadas (Gispert *et al.*, 1996; English *et al.*, 1998; Warriss, 1998a) y en un empeoramiento generalizado de la calidad final de la carne.

De hecho, se sabe que un número excesivo de animales por unidad de superficie incrementa el riesgo de hipertermia maligna y, en consecuencia, de carnes PSE. En este sentido, Lambooi y Engel (1991), concluyen que, los animales transportados en espacios reducidos ($0,44 \text{ m}^2/\text{cerdo}$ de 100 kg), conllevan a un mayor estado de fatiga y agotamiento de los mismos, lo cual queda reflejado en los elevados valores de pH_{45} y pH_{24} obtenidos, aconsejando un espacio de $0,47 \text{ m}^2$ por cerdo.

Gispert *et al.* (2000), encontraron una incidencia ligeramente superior de carnes PSE (48,6%) respecto a carnes normales (45,1%) cuando los transportes utilizaban una densidad de carga mayor a $0,40 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$ de peso, y una mayor incidencia de carnes DFD (12,3%) y moderadamente DFD (13,6%), cuando los transportes usaban una densidad de carga inferior a $0,40$, estableciendo que el uso de densidades de carga mayores a $0,40 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$ de peso producen los mejores índices de calidad en carne.

Barton Gade y Christensen (1998), realizó un estudio experimental sobre el efecto de transportar grupos de 60 animales en 4 categorías diferentes de densidad de carga ($0,35$, $0,39$, $0,42$ y $0,50 \text{ m}^2/100 \text{ kg}$ de peso) y su influencia sobre la calidad de la carne tras el sacrificio, observando que ésta no se vio muy afectada por la densidad de carga utilizada, manifestando una baja incidencia de carnes PSE y moderadamente DFD en todos los casos, a excepción de las medidas en el músculo *Biceps femoris*, donde mostraron una tendencia al alza del carácter PSE al aumentar la densidad de carga.

Por otro lado, las variaciones de temperatura y humedad en los habitáculos donde viajan los animales, particularmente en viajes largos, pueden ser muy grandes, y estas pueden verse contrarrestadas de forma positiva con el efecto de la ventilación de los vehículos durante el movimiento.

Así, Warriss *et al.* (1998a), comprobaron que a los 30 min de iniciado el movimiento, la temperatura interna del habitáculo no difería con la externa más allá de 2-3°C, y que la humedad o densidad de vapor era equivalente a las condiciones ambientales existentes.

No obstante, el problema se agrava cuando se producen paradas o esperas prolongadas antes del sacrificio, donde los animales pueden sufrir el rigor del “golpe de calor”, resultando en manifiestas pérdidas de peso y en un empeoramiento generalizado de la calidad de la carne (Bak y Wajda, 1994), ya que si se sacrifican los animales con una alta frecuencia cardiaca en condiciones de elevada temperatura y humedad ambiente, se favorece la tendencia del músculo hacia el defecto PSE (Von Mickwitz, 1982).

Randall (1993), estableció unos rangos óptimos de temperatura para favorecer el bienestar de los animales durante el transporte, estableciendo una zona termoneutral de 26 a 31°C y una temperatura del aire recomendando no superior a 30°C. Sin embargo, para Van Logtestijn *et al.* (1982) el transporte de cerdos a temperaturas ambientales superiores a 28°C favorece el desarrollo del estrés porcino o hipertermia maligna, ya que la frecuencia cardiaca y el ritmo respiratorio se aceleran significativamente. Por el contrario, Augustini *et al.* (1977), afirman que los transportes a muy bajas temperaturas pueden provocar intranquilidad en los animales y a su vez ser fuente de un mayor grado de excitabilidad cardiaca.

Por su parte, Warriss y Brown (1994), indican que la temperatura más adecuada para el transporte de porcino se halla comprendida entre 10°C y 15°C, ya que por encima de 15°C se eleva la mortalidad al aumentar la susceptibilidad al estrés térmico y no poder disipar el calor de una forma efectiva.

Para estos autores, existe una relación curvilínea entre el rango de mortalidad en el transporte y la temperatura ambiente, hecho que ha sido refrendado por Warriss (1998a), al observar el comportamiento de ésta variable en países del norte de Europa, donde la mortalidad aumenta progresivamente entre los 10°C y los 18°C y se dispara por encima de este valor.

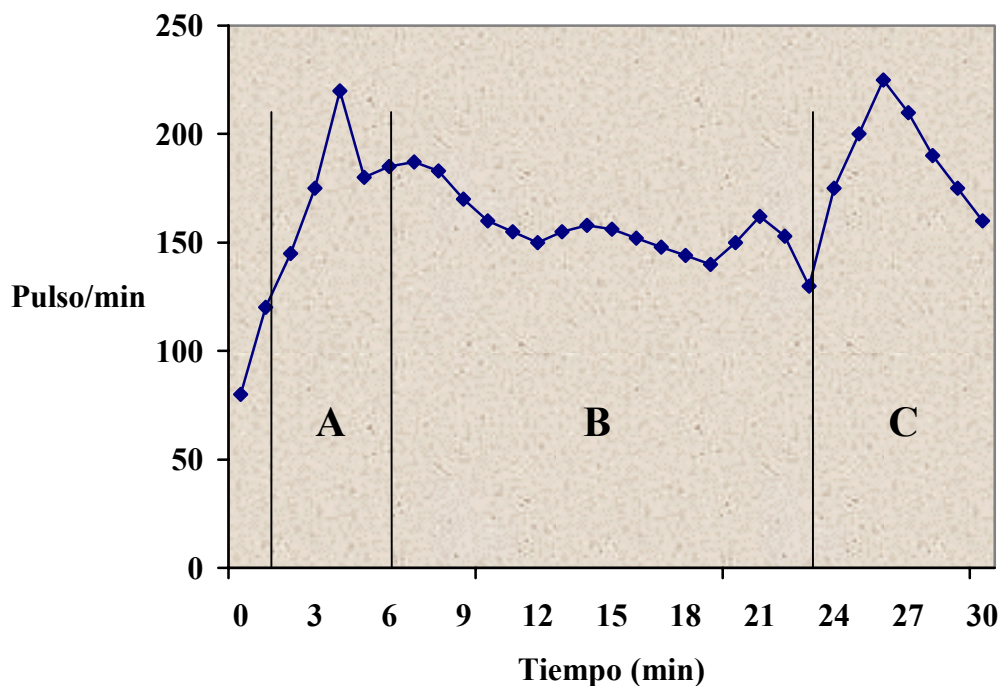
No obstante, en España, Gispert *et al.* (1996) no han encontrado una relación tan manifiesta, y por el contrario, la mayor mortalidad la detectan en los meses de octubre y noviembre, mucho menos calurosos, en gran parte debido a la toma de precauciones extremas durante el verano, cuando las temperaturas medias superan los 25°C.

Un factor a tener en cuenta en las condiciones ambientales de los vehículos es la temperatura corporal de los animales, la cual puede elevarse rápidamente durante los procesos de carga a los camiones, aunque en condiciones óptimas de transporte ésta pueda volver a sus valores normales (Tarrant, 1989). Este fenómeno puede ser un factor de estrés en los animales ya que el calor corporal puede ser reflejado e influir en el balance entre el calor corporal y el flujo de aire inducido por la ventilación, elevando la temperatura del aire en los habitáculos (Warriss, 1998b).

Por el contrario, se ha podido comprobar que la densidad de carga de los animales no influye sobremanera en las condiciones ambientales reinantes en el interior de los vehículos (Warriss *et al.*, 1998a), y que el transporte de cerdos a densidades de carga de 0,3-0,4 m²/100 kg y temperatura ambiente de 10-14°C, apenas tiene efecto alguno sobre la incidencia de carnes PSE y DFD (Guise y Warriss, 1989).

Por su parte, la descarga de animales, al igual que la carga, es una de las fuentes potenciales de estrés y fatiga más importantes a la que pueden estar expuestos los animales que son transportados, pudiéndose detectar según Fischer (1996), oscilaciones importantes del ritmo cardiaco entre los procesos de carga (250 pulsos/min), el transporte, con descensos de hasta 150, 100 y 50 pulsos/min al aumentar el tiempo del mismo, y la descarga de los animales, donde se vuelve a disparar el ritmo cardiaco, incluso por encima de los 250 pulsos/min (Figura 4).

Figura 4. Evolución del ritmo cardiaco en las fases de carga (A), transporte (B) y descarga (C) de los animales, durante transportes reducidos (n=91) (Schön *et al.*, 1975).



De este modo, los procesos incorrectos de descarga, como son las demoras derivadas del tamaño y número de pisos de los camiones, nivel de ocupación de los mismos, forma de realizar la descarga y sobre todo, del número de camiones en espera para realizar dicho proceso, puede concluir en un deterioro final de la calidad de la carne (Diestre, 1993), sobre todo, si la temperatura ambiente durante dicho proceso, es excesivamente elevada.

Según Troeger (1996a), la descarga de cerdos debería hacerse mediante rampas tan horizontales como sea posible, ya que las rampas que son lisas y muy inclinadas no facilitan la salida voluntaria de los animales desde los camiones, y a menudo resultan incompatibles con la protección de los animales o no garantizan la seguridad de los mismos.

En este sentido, Tarrant (1989) afirma que si no se tiene en cuenta la dificultad de los cerdos para el descenso por superficies inclinadas, y no se dispone de equipos apropiados para la descarga, como el uso de rampas hidráulicas o la construcción de rampas a la altura de los diferentes niveles existentes en los camiones, el aumento de lesiones y daños físicos en los animales es inevitable.

De igual modo, el uso indiscriminado de porras eléctricas, objetos punzantes o varas de madera para instigar a los animales durante la descarga, así como, el uso desproporcionado de "marcas a hierro" sobre el lomo de los animales para su posterior identificación, determinan el desarrollo de importantes lesiones sobre la piel de los animales, que se traducen en numerosas heridas sangrantes sobre la piel y el panículo adiposo de la canal (Troeger, 1996a).

3.2.1.4. Tiempo de espera en corrales

El reposo de los animales antes del sacrificio permite la recuperación de las condiciones fisiológicas perdidas durante los procesos de carga, transporte y descarga de los animales, normalizando las condiciones metabólicas, tales como la renovación de los niveles de glucógeno muscular y el tono muscular, favoreciendo la relajación de aquellos animales más afectados por las condiciones de manejo previas. Además, la fase de reposo previo al sacrificio permite recobrar las condiciones estables del sacrificio (Fischer, 1996) y de este modo, contrarrestar las deficiencias de calidad en la carne (Troeger, 1996a).

En la estabulación del ganado porcino es aconsejable llevar a cabo un manejo adecuado para conseguir una incidencia positiva sobre el bienestar y la relajación de los animales. En este sentido, es conveniente aplicar duchas a los animales durante 10-15 min con agua a temperatura ambiente, y administrar agua “ad libitum” durante toda la estabulación. Por su parte, es preciso disponer de una correcta ventilación para evitar que las condiciones ambientales sean inadecuadas, y además, según Tarrant (1989) es preciso poder disponer de espacio suficiente, mediante el uso de puertas o muros separadores suficientemente sólidos, para evitar la entrada mezclada de lotes de animales en la misma cuadra.

Fortin (1989), pudo comprobar que al mezclar animales de diferente origen durante la estabulación, la incidencia de canes PSE se disparaba por encima del 22%. A su vez, Wal *et al*, (1999) pudieron comprobar que el comportamiento agresivo de los animales cesaba a partir de las 3-3 ½ h de estabulación, y que este era muy superior en el caso de los machos que en las hembras, determinando en éstos, un mayor grado de conmoción y estrés, y en definitiva, una pérdida de las características de calidad de la carne, especialmente relacionada con una disminución de la capacidad de retención del agua.

Así pues, mediante un apropiado reposo de los animales antes del sacrificio, se podrá reducir el estado de estrés provocado por el transporte hasta el matadero, minimizando de este modo la incidencia de carnes PSE (Von Mickwitz, 1982). No obstante, existen referencias bastante contradictorias por parte de los autores a la hora de establecer cual es la duración del periodo de reposo más beneficioso tanto para la relajación de los animales, como para la obtención de la mejor calidad de la carne en las fases posteriores.

En este sentido, para Sackmann (1988) los cerdos deberían reposar por espacio de 2-4 h tras realizar un transporte en condiciones normales. Augustini y Fischer (1982) establecen periodos de reposo de 6 a 8 h como mínimo, para cerdos sensibles al estrés. Warriss *et al.*, (1998b) comprobó que la estabulación durante toda la noche, a pesar de provocar una mayor agresividad en los animales, permitía reducir los niveles de cortisol, lactato y creatin fosfoquinasa (CPK), determinando una importante reducción del estrés fisiológico y físico de los animales, mucho mayor que en el caso de reposos de 3 h, y mayor a su vez que para periodos de reposo de hasta 1 h.

Por el contrario, Gispert *et al.* (2000) observaron que al aumentar los tiempos de reposo se favorecía la agresividad y las frecuentes peleas entre los animales, permitiendo que los indicadores de estrés en sangre (cortisol, lactato y CPK) se incrementasen, determinando importantes aumentos de carnes PSE por encima de 9 h de estabulación.

Respecto a la obtención de la mejor calidad de carne, Garrido *et al.* (1992) comprobaron que los reposos entre 4 y 6 h proporcionaban los mejores índices de calidad. En esta línea, Warriss *et al.* (1998b) indican que la estabulación en torno a 3 h puede ser beneficiosa en la reducción de los niveles de carnes PSE, a pesar de que los registros de conductividad eléctrica a 3 h no indiquen tal reducción.

Para otros autores, el sacrificio de los animales tras un reposo de 2-4 h conlleva a una reducción importante del problema de las carnes PSE, (Augustini y Fischer, 1981; Malmfors, 1982; Sackmann, 1988; Eikelenboom y Bolink, 1991).

Por el contrario, otros autores han comprobado que los cerdos sacrificados dentro de los 30 min posteriores a su llegada al matadero, presentaban una mayor reducción del contenido en carnes exudativas, que cuando los cerdos permanecían en reposo por espacio de 6 h (Fortin, 1989) u 8 h (García, 1992). Según Geverink y Lambooi (1994) y Roseiro *et al.*, (1996), el sacrificio inmediato de los animales, además de reducir la incidencia de canales PSE, también ayuda a reducir las lesiones en la piel de la canal, al evitar las agresiones durante la estabulación.

Por otro lado, también se ha observado un deterioro generalizado de la calidad de la carne conforme el reposo de los animales es escaso o excesivamente prolongado (Tabla 5).

Tabla 5.
Influencia del tiempo de reposo sobre la evolución del pH en el músculo
Semimembranossus (Augustini y Fischer, 1981).

Estabulación (h)	Porcentajes de pH		
	pH ₄₅ <5,59	pH ₄₅ <5,79	pH ₂₄ >6,00
0-1	21,7	38,7	3,1
1-2	15,0	33,3	8,4
2-4	9,3	24,3	7,3
4-6	9,1	18,2	10,5
10-16	16,8	33,0	8,2
>16	14,1	33,5	10,3

De este modo, cuando los animales apenas reposan 30 min ó 1 h pueden estar sufriendo todavía las consecuencias de los procesos de carga, transporte y descarga, y en definitiva no dar tiempo a que los animales se puedan relajar, dándose las condiciones necesarias para que aquellos animales con una fuerte predisposición genética sobre el síndrome de estrés porcino, desarrollen ésta patología en toda su amplitud, dando lugar a carnes PSE (Augustini y Fischer, 1981; Sackmann, 1988; Eikelenboom y Bolink, 1991). Además, los tiempos de reposo escasos pueden suponer que ciertos grupos de animales no se puedan reponer del desgaste energético a que han sido sometidos, condicionando en ellos un incremento del pH₂₄ y en definitiva de carnes DFD (Warriss *et al.*, 1990b).

Por su parte, periodos de reposo superiores a 10-12 h o incluso toda la noche, resultan inapropiados para los animales, debido a que éstos arrastrarían en tales condiciones, un gran número de horas de ayuno que les llevaría hacia un estado de agotamiento progresivo, al verse reducida la reserva de glucógeno muscular y no poder reponer el tono muscular y las condiciones fisiológicas normales, determinando una peor calidad de la carne al incrementarse el defecto DFD (Malmfors, 1982; Fortin, 1989; Warriss *et al.*, 1990b; Fischer, 1996; Gispert *et al.*, 2000) y las pérdidas de peso vivo y en canal (Fischer *et al.*, 1986).

No obstante, en determinadas situaciones comerciales como las derivadas de periodos de estabulación prolongada, se suelen administrar complementos alimenticios a los animales, principalmente en el agua de bebida, con el fin de evitar pérdidas en el rendimiento de la canal y contrarrestar el nivel de desgaste del glucógeno muscular (Warriss *et al.*, 1998b).

3.2.1.5. Manejo de los animales previo al sacrificio

El manejo y los sistemas de contención previos al sacrificio influyen sobremanera en las condiciones de bienestar alcanzadas por los animales, así como en la obtención de una determinada calidad final de sus productos. En este sentido, los sistemas de contención a utilizar deben garantizar la eliminación de operaciones innecesarias, como la inmovilización "a la fuerza", pues dada la especial sensibilidad a la manipulación de estos animales, ello supondría generar mayor tensión y estrés, y en consecuencia, la aparición de graves problemas de calidad.

Según Troeger y Woltersdorf (1989), el traslado de los animales al lugar de insensibilización y los métodos de aturdimiento actualmente utilizados previos al sacrificio, conllevan a un estado de estrés añadido sobre el animal, reflejado en un aumento de "hormonas del estrés" (adrenalina y noradrenalina) liberadas al torrente sanguíneo, que repercuten negativamente en los parámetros de calidad de la carne.

Además, el cerdo es un animal especialmente sensible a la manipulación, por lo que en el transcurso de su inmovilización, son relativamente frecuentes las fracturas óseas y las heridas sangrantes, con la consiguiente pérdida de calidad de la canal que ello supone.

En este sentido, Schäffer *et al.* (1997a) han podido comprobar que el uso de palos y porras eléctricas para instigar a los animales y dirigirlos hacia el restrainer, es un hábito ampliamente difundido en los operarios, que en algunos casos supera el 96% de los casos, observando además, que la mayoría de los animales ($\geq 50\%$) se negaban a entrar en el restrainer en estas condiciones, y sólo unos pocos accedían voluntariamente.

Respecto a la incidencia del acarreo desde los corrales hasta la zona de sacrificio sobre el grado de estrés en los animales, Schäffer *et al.* (1997b) comprobaron que la conducción de grupos de 4 animales presentaba óptimos resultados frente a grupos reducidos de 1 ó 2 animales, pues en tal caso se requiere un mayor esfuerzo por parte del operario y los animales desarrollan más tensión y estrés.

Por todo ello, Schäffer *et al.* (1999) proponen que las cuadras de espera se construyan formando áreas circulares, o bien, con paredes móviles que permitan delimitar espacios separados para albergar animales de una misma raza, así como de sistemas que permitan la reducción de ruidos, con el fin de mejorar el manejo de los animales, y Troeger y Woltersdorf (1989), proponen el traslado de animales a través de pasillos dobles en los cuales los cerdos tengan que verse mutuamente, a fin de estimular en ellos el instinto de rebaño.

Como muestra la Figura 5, el traslado de animales hacia las naves de sacrificio debe hacerse por el camino más corto y seguro, evitando estancamientos y retrasos innecesarios, mediante la construcción de pasillos segmentados y acoplados, que se estrechen progresivamente hasta permitir el paso de un solo animal desde las cuadras de espera hasta las mangas de acceso hacia los sistemas de aturrido, pudiendo pasar, según el diseño de matadero, por unas cuadras de empalme o cuadras cargadoras, que facilitan el acceso de los animales hacia las mangas.

Generalmente, las mangas de acceso hacia los sistemas de aturrido son dobles e incomunicadas, y están construidas formando un leve rampa en subida de unos 6-7 m de largo por 0,35 m de ancho y cuya altura interna no supera los 75 cm al quedar limitada por listones longitudinales para evitar que los animales puedan elevarse (Figura 6). Además, están provistas de unas trampillas de seguridad que facilitan el avance pero no el retroceso de los animales, formado por unas palancas metálicas que se cierran al paso de los animales.

Figura 5.
Transito óptimo de la capilla a las mangas (Hoenderken, 1978).

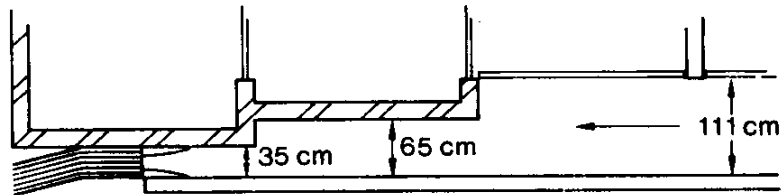
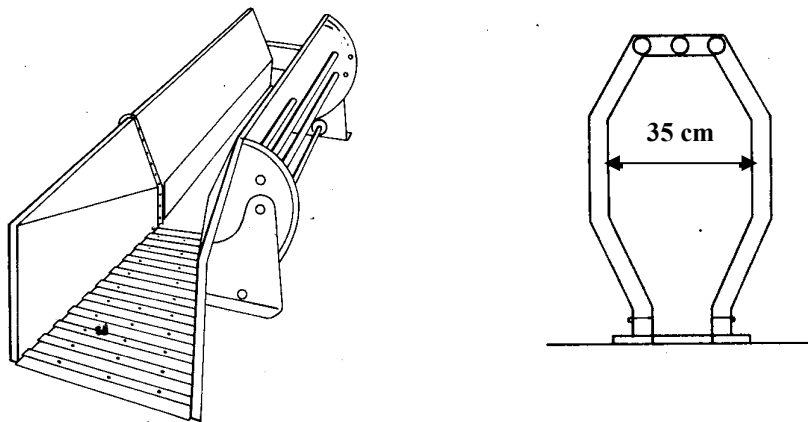


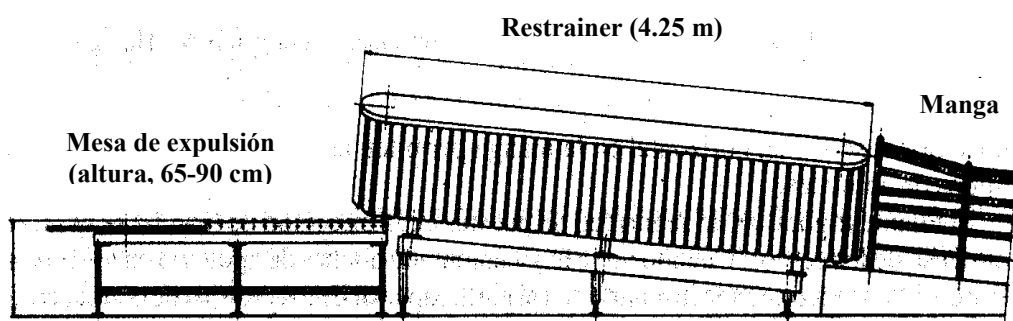
Figura 6.
Manga de aturrido en rampa y sección transversal de una manga.



El pasillo de conducción o manga puede desembocar directamente en las compuertas de acceso a los sistemas de aturrido por CO₂, o bien, en un inmovilizador para aturrido eléctrico conocido como restrainer o stunning conveyor (Figura 7), que además de inmovilizar al animal, lo transporta hacia una mesa de expulsión, gracias a que sus paredes laterales internas están equipadas por unas láminas de plástico que se mueven mediante un sistema de cadena-oruga.

Dichas paredes laterales están inclinadas hacia dentro permitiendo que los animales queden en pie, sostenidos por las paredes, y posicionados de forma correcta para el aturdimiento eléctrico gracias a que el restrainer presenta una cierta inclinación en ascenso.

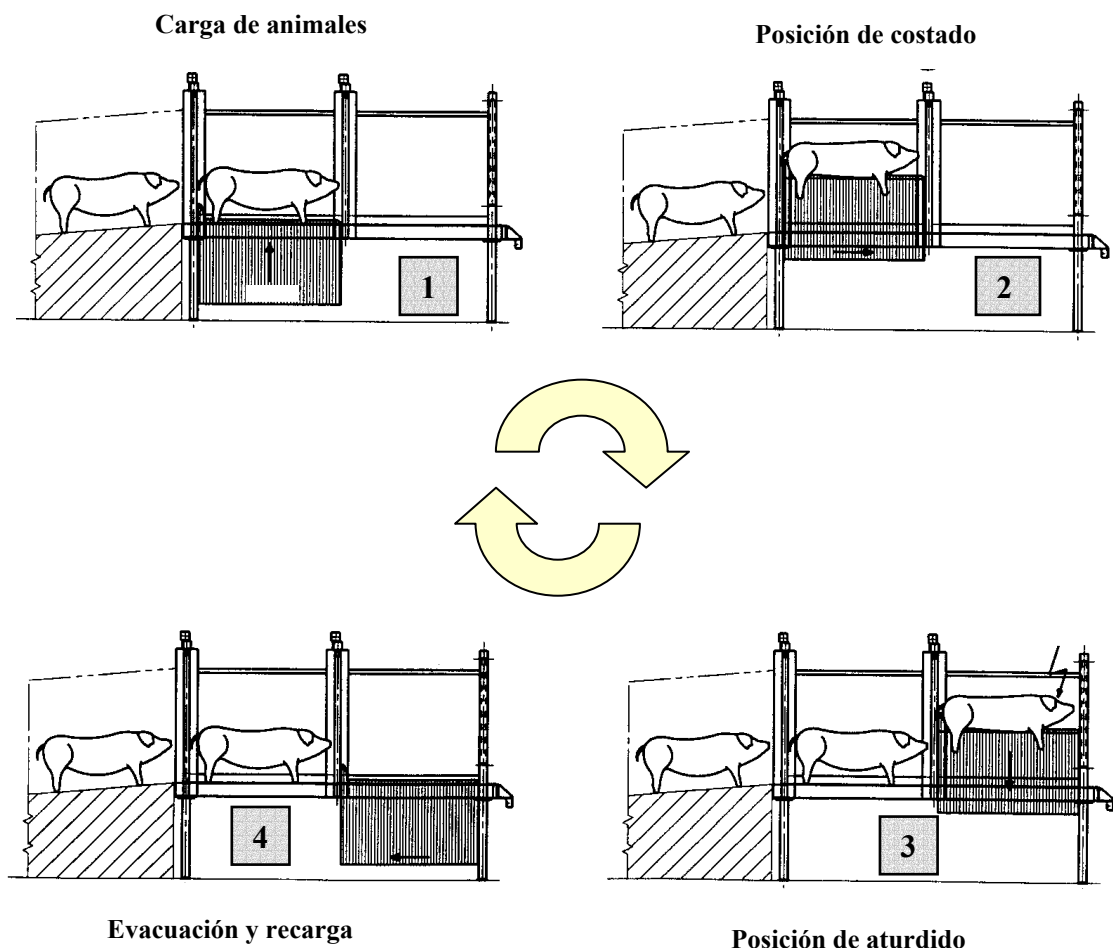
Figura 7.
Sección transversal del Restrainer (MIB-abeq b.v., Holanda).



Con el fin de mejorar las condiciones de bienestar de los animales durante las operaciones de sujeción típicas del restrainer, así como el manejo por parte de los operarios, Wenzlawowicz *et al.* (1996) desarrollaron el sistema *PIGLIFT* para la inmovilización y posicionado de los cerdos antes de la electronarcosis (Figura 8). Tras abandonar las mangas de carga, el animal entra en el aparato quedando sobre una plataforma metálica (posición 1), que se eleva fijando al animal por su costado (posición 2).

Acto seguido, el soporte transportador avanza y posiciona al animal para la aplicación de la descarga eléctrica (posición 3), permitiendo la retirada del animal aturdido mediante una compuerta lateral de acceso hacia la zona de desangrado, a la vez que el soporte transportador retrocede y carga otro animal (posición 4).

Figura 8.
Evolución secuencial del sistema PIGLIFT.



3.2.1.6. Insensibilización o aturdimiento

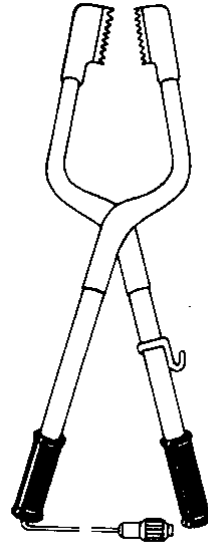
Según la Directiva 93/119/CEE, todos los animales sacrificados y destinados para consumo de carne deben ser aturridos de forma instantánea y prolongada en el tiempo hasta la muerte del animal por desangrado. A su vez, la técnica de aturdimiento debe garantizar el bienestar animal y la seguridad del operario, minimizando los problemas de calidad del producto final y los costes de su aplicación.

El *aturdimiento eléctrico* es un método de insensibilización, que por sus características, está especialmente recomendado a escala industrial (Wal, 1978).

El sistema tradicional de aturrido eléctrico *sólo-cabeza* (Figura 9) consiste en aplicar dos electrodos o tenazas sobre la cabeza del animal, capaz de transmitir una descarga eléctrica a una intensidad lo suficientemente alta como para provocar una despolarización del sistema nervioso central y una desorganización de la actividad eléctrica normal (Velarde *et al.*, 1999).

La intensidad de corriente normalmente utilizada oscila entre 70 y 1.000 voltios (V), y ésta se aplica durante un margen de tiempo que guarda una relación inversa a la cantidad de corriente utilizada. De este modo, tenemos el *electrocoma*, cuando se aplican 75 V durante 15 s y el *electroshock* cuando se emplean intensidades de 190-300 V durante 1,5 s provocando unos 66 s de inconsciencia (Wal, 1978; Diestre y Arpa, 1984).

Figura 9.
Pinza de aturrido eléctrico *sólo-cabeza* (Schermer, RF Alemania).



El uso de corrientes eléctricas de bajo voltaje (70-90 V) ha sido puesto en duda por Hoenderken, (1983) al no garantizar el aturrido en todos los animales, y observar como después de aplicar ésta electronarcosis, los cerdos se levantaban en pocos segundos y permanecían en pie, como muestra de la escasa pérdida de consciencia. Según el autor, sería necesaria una corriente mínima de 1,3 A para inducir actividad epileptiforme en el 98% de los cerdos estudiados, reflejada por electroencefalogramas activos de la corteza cerebral, para inducir la pérdida de consciencia en pocos segundos.

El mecanismo de acción de la electronarcosis consiste en la aparición de una primera fase de estimulación de la fibra muscular (15-20 s), seguida de una fase de relajación que dura unos 25-30 s y donde es recomendable la aplicación del degüello del animal, y una tercera fase de carácter convulsivo y duración variable, donde pueden aparecer mioclonias y espasmos musculares.

Para alcanzar el correcto bienestar animal mediante el uso de la electronarcosis, es preciso la inmovilización separada de los animales, de manera que se permita el correcto posicionado de los electrodos y a la vez sea posible mantenerlos en contacto con el animal durante un tiempo prudencial (Wenzlawowicz *et al.*, 1996). De ello se desprende que, la eficacia de la técnica dependerá de la correcta posición de los electrodos y de la intensidad de corriente y duración de la misma, además de asegurar unas condiciones de mínimo estrés presacrificio y un desangrado eficaz y rápido de los animales (Briese, 1996; Holleben, 1996), si bien, para Sparrey y Wotton (1997) existen problemas potenciales que pueden hacer difícil la transmisión de la corriente como son el estado de conservación de los electrodos, especialmente si están muy sucios, la escasa superficie de contacto proporcionada por los electrodos y el peculiar perfil de la cabeza del cerdo.

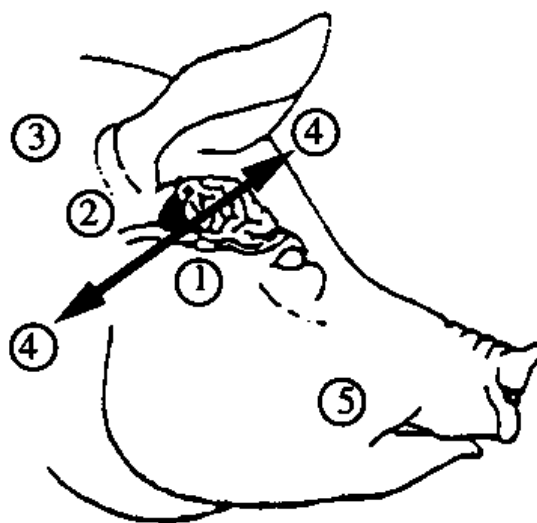
Anil (1991), estudió el efecto de la aplicación de tenazas eléctricas sobre la cabeza de los animales, sobre la inducción de comportamientos físicos indicativos de inconsciencia, y comprobó que la aplicación de corrientes de 150 V (0-41 A) durante 3 s provocaba una ausencia de respuesta física al pinchazo de nariz en los animales durante 57 s.

En este sentido, los electrodos o tenazas que se aplican en la cabeza deben de colocarse de tal manera que formen un arco sobre el cerebro, habilitando el paso de la corriente a través de ellos (MAFF, 1995).

Según Anil y McKinstry, (1996) las aplicaciones más apropiadas para el aturdimiento eléctrico sólo-cabeza serían las posiciones 1, 2 y 4 (Figura 10). La posición 1, entre la oreja y el ojo de ambos lados de la cabeza, la cual habilita una menor resistencia a la penetración de corriente vía nervio óptico y auditivo.

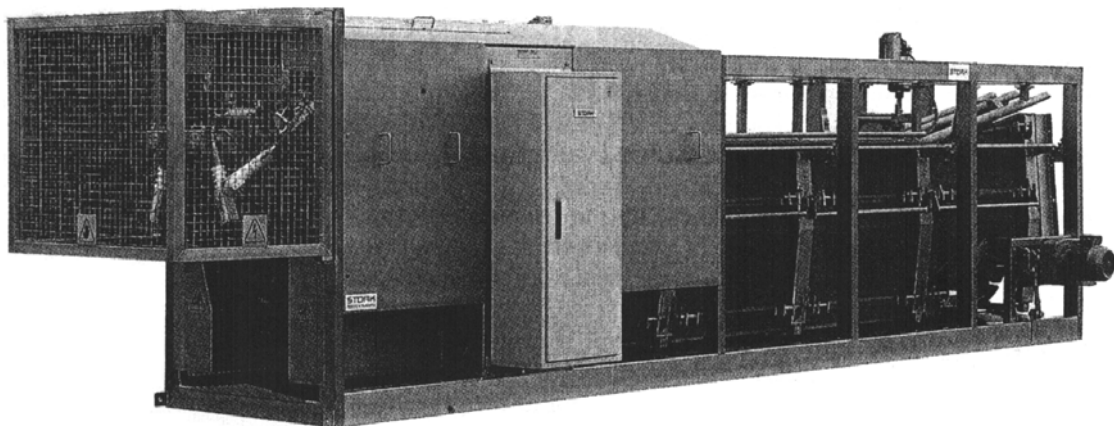
La posición 2, debajo de la oreja de cada lado de la cabeza, pues esta cerca de la posición 1 y también abarca todo el cerebro, si bien es muy paralela y necesita mantener durante mucho tiempo los electrodos para garantizar un óptimo contacto. La posición 4, entre la parte superior e inferior de la cabeza mediante la aplicación diagonal de los electrodos, comúnmente utilizada cuando se emplean los transportadores del restrainer para sujetar al animal, aunque resulte un camino más largo entre los electrodos, estos también abarcan el cerebro transfiriendo de forma apropiada la corriente. Por el contrario, estos autores desaconsejan la aplicación de los electrodos sobre el pescuezo (posición 3) pues su aplicación reporta un aporte de corriente superior a 1,3 A, excediendo claramente al paso de corriente por la posición 1 (0,41 A), así como, la aplicación de los electrodos sobre el hocico o la mandíbula (posición 5), muy lejos del cerebro, pues no permiten el flujo de corriente a través del mismo.

Figura 10.
Posiciones habituales del aturrido eléctrico *sólo-cabeza*.



Frente al tradicional sistema de electronarcosis mediante implantación de tenazas, se han desarrollado sofisticados sistemas de aturdimiento eléctrico *cabeza-pecho*, como el *Inarco System (MIDAS)* descrito por Wenzlawowicz *et al.* (1999) (Figura 11), con el fin de mejorar las condiciones de manejo de los animales y la calidad final de la carne.

Figura 11.
Equipo de sujeción Midas con Inarco System para el aturdimiento automatizado cabeza-pecho de cerdos.



Mediante este sistema, y una vez conducidos los animales al interior del aparato, estos son inmovilizados por una cinta transportadora y acto seguido, le son posicionados automáticamente dos electrodos en la cabeza y uno en el pecho en la zona de proyección del corazón, los cuales se accionan de forma automática conforme van pasando los animales por un fotosensor.

En primer lugar se disparan los electrodos de la cabeza transmitiendo una corriente de 2,3 a 2,6 A durante 2,1 a 2,4 s, generando un circuito de alta frecuencia (800 Hz), y tras 0,8 s de iniciada la descarga de corriente en la cabeza se dispara el electrodo del pecho, el cual hace pasar una corriente de 1,0 a 1,7 A durante 1,4 a 1,7 s, generando un circuito de baja frecuencia (50 Hz), provocando la fibrilación del miocardio. El flujo de corriente se mantiene constante en todo momento gracias a un adaptador electrónico de voltaje, y la resistencia del circuito es mínima gracias a que los electrodos se implantan horadando la piel.

De este modo, Lambooij *et al.* (1997) alcanzaron buenos resultados de inconsciencia en cerdos aturdidos mediante la aplicación combinada de electrodos cabeza-pecho y corrientes eléctricas de alta frecuencia y bajo voltaje (240 V / 800 Hz / 3 s en cabeza, y 125 V / 50 Hz / 3 s en corazón), al comprobar que después del aturdimiento los cerdos mostraban las pupilas dilatadas, reflejo corneal descoordinado, no reaccionaban a la punción táctil, y su comportamiento era igual que el de una reacción epiléptica, es decir, una sucesión alternativa de espasmos tónico-clónicos seguidos de relajación, y posterior fase de fibrilación cardiaca.

Por ello, el aturdimiento eléctrico sólo cabeza usando corrientes de alta frecuencia, con aplicación de un tercer electrodo en la zona de proyección del corazón usando corrientes de baja frecuencia, resulta ser un método efectivo para el aturdimiento de cerdos (Lambooij *et al.*, 1997), mucho más eficaz desde el punto de vista del bienestar animal que el aturdimiento por CO₂, debido a que induce al animal a una insensibilidad instantánea y la prolonga hasta la muerte cerebral (Velarde *et al.*, 1999).

La electronarcosis es una técnica ampliamente difundida en el sector porcino, pero a su vez, cada vez más desaconsejada en beneficio de la inhalación de gases, debido a que su aplicación conduce hacia un empeoramiento de la calidad de la carne por aumento del defecto PSE (Barton Gade, 1993; Velarde *et al.*, 1999) como consecuencia de la mayor estimulación de la fibra muscular que tiene lugar durante la fase clónica, la cual determina una aceleración del metabolismo *post mortem* y una mayor exudación de líquidos, al provocarse una mayor desnaturalización de las proteínas musculares.

Además, el uso inadecuado de esta técnica determina una peor calidad de la canal al verse favorecida una mayor incidencia de petequias, equimosis, hemorragias y fracturas óseas (Larsen, 1983; Gregory, 1987; Troeger, 1996b). No obstante, otros autores apuntan otros factores influyentes como la predisposición al estrés, el alto desarrollo muscular, el excesivo estrés presacrificio, las lesiones previas de la fibra muscular, la inmovilización, el desangrado y los errores del personal como importantes causas de estos defectos en las canales (Lambooij *et al.*, 1992; Wenzlawowicz, 1996).

Mihajlovic *et al.* (1993), estudió el efecto de los rangos de aplicación de corriente sobre los animales y su implicación en la calidad de la carne. De este modo, al usar bajos voltajes (80-85 V) correctamente aplicados, se conseguía un aturdimiento instantáneo de los animales, pero en cambio, eran frecuentes las manchas por desangrado del músculo *Longissimus dorsi*, las fracturas óseas y el desarrollo de carnes PSE. Por contra, usando altos voltajes eléctricos (240-1000 V) esas desventajas eran eliminadas parcialmente. Otros autores, en cambio, han comprobado que el uso de corrientes eléctricas excesivamente altas (1000 V) inciden negativamente sobre la calidad de la carne (Zert y Polack, 1982a; Diestre y Arpa, 1984), además de los problemas de seguridad que afectan a los empleados cuando se emplean voltajes tan elevados (Wal, 1978).

Troeger y Woltersdorf, (1990), estudiaron 51 cerdos de genotipo conocido (HP: halotano positivo y HN: halotano negativo), los cuales fueron aturridos bajo condiciones reproducibles con diferentes niveles de corriente eléctrica (12,5, 15 y 30 Coulombs) y desangrados instantes después en posición horizontal. Los resultados obtenidos tras la aplicación de rangos de corriente entre 15 y 30 C, fueron de un incremento de carnes PSE en ambos grupos de cerdos (HP y HN).

El uso de niveles bajos de corriente para el aturdimiento (12,5 C), fue insuficiente para provocar un nivel aceptable de inmovilización en los animales, y además, los cerdos sensibles al estrés (HP) presentaban un considerable deterioro en la calidad de la carne comparable a cuando se usan 15 C para el aturdimiento. En definitiva, el uso de corrientes de 15 C (1,5 A) aplicadas durante 10 s, fue la más adecuada para dar la mejor calidad de carne.

Para estos autores, existen dos razones fundamentales que explicarían la aparición de carnes PSE tras aplicar electronarcosis; uno sería la continuación de vigorosos espasmos musculares tras el cese de la aplicación de corriente que conduciría a una mayor exudación del agua, y el otro factor negativo sería provocado por la práctica de colgar los animales verticalmente sobre los raíles justo después del aturdimiento, lo que llevaría a acentuar los espasmos musculares.

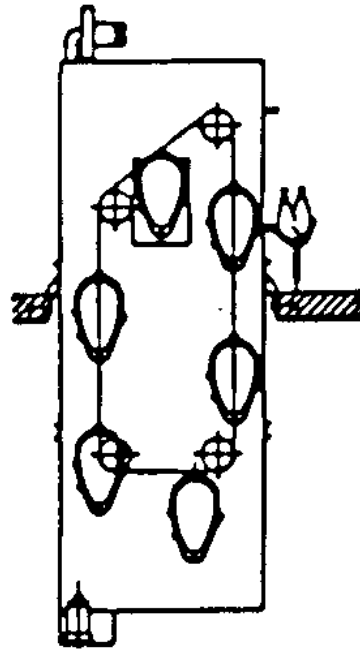
La incidencia de aparición de carnes PSE con la aplicación de aturdimiento eléctrico mediante el uso de tenazas y el posterior desangrado de los animales, fue estudiada por Holková y Becková (1989), observando que la aplicación de descargas repetidas con tenazas eléctricas sobre la cabeza del animal producía un incremento del 15% de carnes PSE, mientras que si la descarga era única, el incremento se reducía al 5%.

La *anestesia con CO₂*, cada vez de mayor implantación en los grandes mataderos industriales, consiste en someter los animales a una mezcla de gases de gran riqueza en CO₂ (entre el 70-80%), iniciándose la inducción a la insensibilidad entre los 30 y 39 s (Gregory *et al.*, 1990), provocando el aturdimiento completo del animal en escasamente 1 min (Woltersdorf y Troeger, 1990).

El primer sistema de aturdimiento por CO₂, conocido como *Túnel Oval CO₂ Inmovilizador*, fue desarrollado por la firma Danesa Butina Aps en el año 1954 para una línea de producción de 240 cerdos/h. El proceso consistía en colocar a los cerdos en el túnel con la cabeza hacia abajo, dentro de una atmósfera concentrada de CO₂, mientras se les mantenía inmovilizados con dos cintas paralelas mecanizadas que limitaban su movimiento. Mediante este sistema los animales mostraban signos claros de miedo antes de pasar al estado de inconsciencia, generando mucho estrés en ellos, e incluso daños físicos.

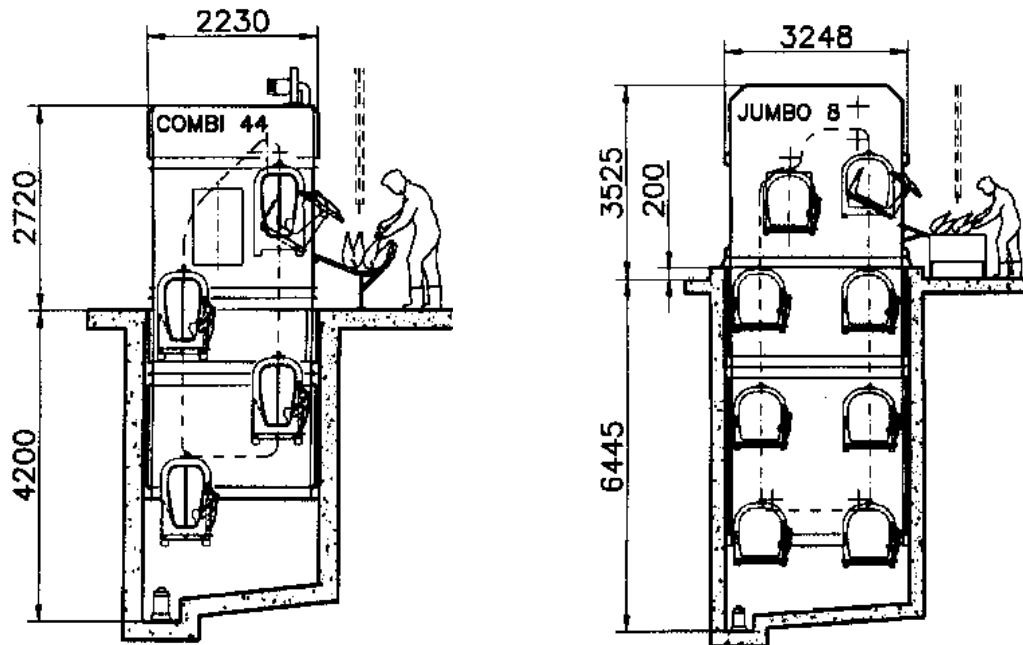
Con el fin de superar tales inconvenientes, la marca Danesa desarrolló durante los años 60 las plantas *Anestesiador Compacto de CO₂* (Figura 12), más operacionales, seguras y económicas que sus predecesoras. Estos equipos están adaptados para producciones en planta de 120-360 cerdos/h, y diseñados en forma de noria giratoria sobre un eje central que presenta un potente encadenado, del cual quedan suspendidas entre 2 y 8 góndolas o chiqueros. Una vez que los cerdos entran a la planta por los chiqueros y la compuerta del sistema es cerrada, el suelo del chiquero se abre y sujeta al cerdo por sus costados suspendiendo las patas en el aire, para que posteriormente, tras hacer girar la cadena el animal pase a las posiciones de exposición al CO₂.

Figura 12.
Túnel de Anestesiado. Modelo COMPACT (Butina Aps).



Los equipos compactos de anestesia han ido evolucionando mediante la incorporación de mejoras puntuales, como el cambio de chiqueros por cabinas estanco, así como por las diferentes exigencias industriales, de tal modo que, en la actualidad podemos encontrar dos *Plantas Compactas de CO₂*, disponibles para operar con control automático de la atmósfera de CO₂ (Figura 13). Las *Plantas Combi* para mataderos con una capacidad de 120-600 cerdos ó 300 cerdas/h, con un total de 2-8 cestas con capacidad para 1-3 cerdos ó 1 cerda, y las *Plantas Jumbo* adaptadas a mataderos industriales de gran capacidad (220-1000 cerdos ó 500 cerdas/h) provistas de 2-8 góndolas con capacidad para 4 cerdos ó 2 cerdas madre cada una.

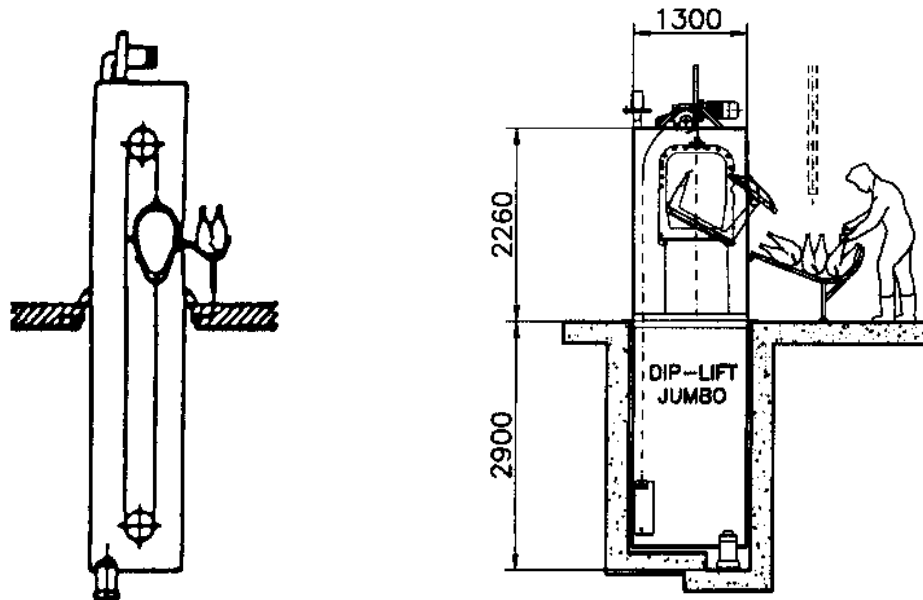
Figura 13.
Túnel de Anestesia. Modelos COMBI Y JUMBO (Butina Aps).



Una vez han sido introducidos los cerdos en la planta, y gracias a que el CO_2 es más pesado que el aire, el movimiento giratorio del equipo compacto permite la exposición progresiva a diferentes concentraciones de CO_2 según el nivel de profundidad, siendo habitual la exposición al 30% de CO_2 en las posiciones más superiores, un 30-60% de CO_2 en las posiciones intermedias, y un 70-80% de CO_2 en la posición más profunda del túnel, de tal modo que tras una fase de relajación (10-15 s) y otra de excitación (5-7 s), los animales quedan inconscientes por pérdida del reflejo corneal a los 30 s y anestesiados por completo en 1-1,30 min.

Por otro lado, están las *Plantas Dip-Lift* (inmersión-elevación), que a diferencia de las plantas compactas sólo presentan una cesta o góndola y aunque pueden usar sistemas encadenados (dip-lift ultra), éstos no giran sobre un eje, sino que funcionan como un montacargas o ascensor ayudados por un sistema de poleas (dip-lift jumbo), de tal modo que los animales tras descender a la parte profunda del túnel quedan expuestos a una atmósfera de CO₂ capaz de provocar la inconsciencia, para luego salir tras ser elevados a la compuerta superior (Figura 14). Este sistema se ajusta a mataderos pequeños con una capacidad de 50-120 cerdos ó 35 cerdas/h, provista de una sola góndola o cesta, con capacidad para 1-3 cerdos ó 1 cerda.

Figura 14.
Túnel de Anestesia. Modelos Dip-lift ULTRA y Dip-lift JUMBO (Butina Aps).



El comportamiento variable de los animales según la exposición a diferentes concentraciones de CO₂ tiene su explicación en una sensibilidad variable de las diferentes regiones del sistema nervioso central (SNC) a variaciones precisas del pH, de modo que la disminución del pH tisular en el SNC de 7,35 a 6,8 y la hipoxia hipercápnica que se deriva de ello, conducen hacia la insensibilidad del animal por una depresión de la función neuronal, y a un aumento de la presión sanguínea y de la frecuencia cardiorrespiratoria. Además, mediante el uso de la anestesia con CO₂ se detecta una mayor reducción de espasmos musculares violentos, y en consecuencia, de hemorragias y fracturas óseas.

Para algunos autores, la anestesia con CO₂ presenta una serie de ventajas con respecto a los demás sistemas. Mihajlovic *et al.* (1993), observaron que los animales se encontraban menos estresados en los momentos previos al sacrificio, evitándose por un lado los molestos gruñidos del animal, a la vez que se mejoraba su manejo, y por otro lado, se reducía en gran medida la incidencia de carnes PSE (2-6%), la aparición de manchas por desangrado en el músculo *Longissimus dorsi* y las fracturas óseas. Barton Gade (1984), observó que en los cerdos insensibilizados eléctricamente, se instauraba antes el *rigor mortis* y aparecían más carnes PSE a los 45 min *post mortem*, en comparación a la narcosis con CO₂.

Por su parte, Velarde *et al.* (1999) hicieron un estudio comparativo en 4 mataderos comerciales sobre los sistemas de aturrido eléctrico y CO₂, y su relación con la calidad de la carne y la canal a 2 y 7 h *post mortem*, observando que la incidencia de carnes PSE fue inferior en los mataderos equipados con sistemas de inhalación de CO₂ respecto al aturrido eléctrico, tanto a las 2 h (3,8% frente a 8,8%) como a las 7 h (13,8% frente a 18,8%), y sobre la canal, la incidencia de petequias, equimosis y hemorragias fue baja en líneas generales, y además, no se encontraron fracturas óseas en ninguna de las piezas evaluadas.

Por otro lado, Haumann (1989) matiza que el hecho de que los cerdos lleguen a estar inconscientes con una mezcla del 80% de CO₂ y 20% de aire, prueba que la anestesia se produce por el dióxido de carbono y no por la falta de oxígeno (sofoco, ahogamiento), pues las evidencias experimentales tras examinar el contenido de oxígeno en sangre (Ring, 1988) y evaluar los tiempos de recuperación de los animales (Laursen, 1983), sugieren que el sofoco o ahogamiento no juega un papel importante en el aturrido por CO₂.

Para Gregory *et al.* (1990) el dióxido de carbono es un gas desagradable durante su inhalación debido a su aroma ácido, llegando incluso a ser picante a altas concentraciones, provocando en estos casos sensación de asfixia. A pesar de que este fenómeno sólo se produce en los animales en las fases iniciales de la anestesia, Gregory (1994) considera que ello es motivo suficiente como para ser considerado como un sistema de aturrido desagradable e inhumano.

Zeller *et al.* (1987) al estudiar el comportamiento convulsivo de los animales sometidos a anestesia con CO₂, sugieren que en parte de los episodios convulsivos que sucedían a la fase de relajación, los cerdos permanecían conscientes, por lo que dudaban que este sistema fuese del todo humanitario.

De igual forma, Prändl *et al.* (1994) pudieron comprobar mediante estudios electroencefalográficos como la pérdida de la consciencia de los animales aturridos con CO₂ se producía sólo al final de fases prolongadas de excitación y tras una exposición al gas de 40 s, por lo que consideraron que este sistema era inadecuado desde el punto de vista de la protección animal ya que generaba en los animales estados de gran excitación, que se traducían en un mayor estrés y en una peor calidad de la carne. Por el contrario, Forslid (1988) estudió los encefalogramas de cerdos anestesiados con CO₂ y pudo comprobar que los ataques convulsivos se desarrollaban después de la pérdida de consciencia de los animales.

Desde el punto de vista del bienestar animal, Velarde *et al.* (1999) consideran el aturcido con CO₂ menos eficaz que la electronarcosis cabeza-pecho, ya que pudieron constatar la aparición de reflejos fisiológicos indicativos de sensibilidad, tales como el reflejo corneal y la sensibilidad al dolor, que a excepción de la respiración espontánea, fueron claramente superiores a la estimulación eléctrica.

Otros autores resaltan una serie de desventajas en la anestesia con CO₂. Troeger y Woltersdorf (1991), observaron que los animales halotano positivos presentaban una mayor respuesta adversa al CO₂, al reaccionar más violentamente durante la fase convulsiva de la anestesia, que los halotano negativos, encontrándose con que el pH a los 45 min tras el sacrificio era mayor en los cerdos halotano positivos que en los halotano negativo, y consecuentemente, la incidencia de carnes PSE era mayor en los animales sensibles al estrés.

El *aturdimiento por inyección de agua a presión* en el cráneo provoca una destrucción cerebral a nivel de centros nerviosos centrales en milisegundos, causando una inconsciencia inmediata pero provocando convulsiones semejantes a las de la decapitación, principalmente a nivel de las extremidades posteriores (Schatzmann *et al.*, 1990). El inyector de agua trabaja a una presión de 3500 bar y una propulsión de 50 m/s, para garantizar el aturcido de los animales.

Schatzmann *et al.* (1994) proponen una serie de alternativas al problema de los espasmos musculares derivados de este sistema de aturcido. En primer lugar, se sometía a los animales a la acción de una pequeña descarga eléctrica, tras introducir su cabeza en una cesta o embudo, localizada en el aparato de aturcido, y hacer pasar una corriente eléctrica desde la base del embudo hasta un par de electrodos localizados debajo de las orejas, la cual cesaba cuando la boquilla ensamblada en el aturridor de agua a presión entraba en contacto con la base del embudo, permitiendo regular así la intensidad de corriente.

En segundo lugar, para evitar la aparición de espasmos musculares provocados por una actividad residual de la médula espinal, los animales eran colocados sobre una mesa giratoria a la salida del equipo de aturdido, provista de una serie de cinturones o correas capaces de transmitir una corriente de bajo voltaje (40 V) que permitía bloquear dichas contracciones consiguiendo la completa inmovilización de los animales

Para estos autores, el sistema de aturdido por inyección de agua a presión ofrece ciertas ventajas frente al sistema de aturdido eléctrico, desde el punto de vista de la calidad de la carne y la canal, al observarse una reducción considerable de manchas hemorrágicas y fisuras o desgarros tanto en jamón como en la paleta.

Por otro lado, a pesar de que esta técnica de sacrificio provoca la destrucción de ciertas regiones cerebrales, el efecto de insensibilización conseguido con él parece ser mejor que el alcanzado con la técnica de la “bala cautiva”, pues ésta última provoca la destrucción del tronco cerebral, conduciendo inevitablemente a la muerte del animal.

La ***insensibilización con percutor*** es una técnica ampliamente utilizada en el ganado bovino, y se puede hacer con *percutor romo*, realizando un disparo sobre el hueso frontal de la cabeza de los animales mediante una pistola cargada con un cartucho, del cual sale un vástago romo que golpea fuertemente al hueso sin llegar a fracturarlo, o bien con *percutor de vástago*, realizando el disparo con una pistola cargada con un cartucho o con aire a presión, de donde sale un percutor o vástago de carácter retraible, el cual perfora los huesos del cráneo provocando la lesión de una amplia zona cerebral, permitiendo así la incoordinación motora y sensorial del animal.

3.2.1.7. Sistemas de conducción en mataderos de cerdos

Tras el aturcido, los animales son izados de una de las extremidades posteriores mediante unas argollas metálicas unidas por una cadena a un sistema mecánico de elevación, el cual posiciona a los animales en los raíles de conducción aérea. Este sistema de conducción aérea permitirá el traslado de los animales desde la sala de sacrificio y sangrado hasta las diferentes zonas intermedias del matadero, donde su especial posicionado facilitará el faenado y obtención de las medias canales antes de que éstas entren en los sistemas de refrigeración (Figura 15).

A). Ganchos pendulares

Mediante estos sistemas los cerdos son colgados de dos carriles paralelos separados aproximadamente 1,30 m, mediante dos ganchos pendulares que se aplican a las extremidades posteriores (Figura 16).

Los animales progresan con el dorso hacia delante y el abdomen hacia atrás, presentando las extremidades adecuadamente separadas para facilitar el faenado posterior de la cavidad abdominal y torácica. El sistema de propulsión es a mano y el operario debe colocarse entre medias de las canales suspendidas para proceder al faenado y obtención de las dos medias canales (A), que quedaran localizadas en ganchos libres del sistema pendular (B).

B). Perchas de separación

Este sistema utiliza un solo carril de conducción por donde circulan las perchas de separación deslizantes o rodantes (Figura 17), mediante las cuales se cuelgan los cerdos por las extremidades posteriores.

Figura 15. Diseño de una línea de sacrificio porcino (Taesa).

- 1.** Inmovilización con Restrainer, **2.** Aturdido e izado a sangrado, **3.** Sangrado, **4.** Cabina de prelavado, **5.** Cuba de escaldado, **6.** Depilado, **7.** Izado a faenado, **8.** Secado con flageladora, **9.** Flameado-chamuscado, **10.** Apurado final.

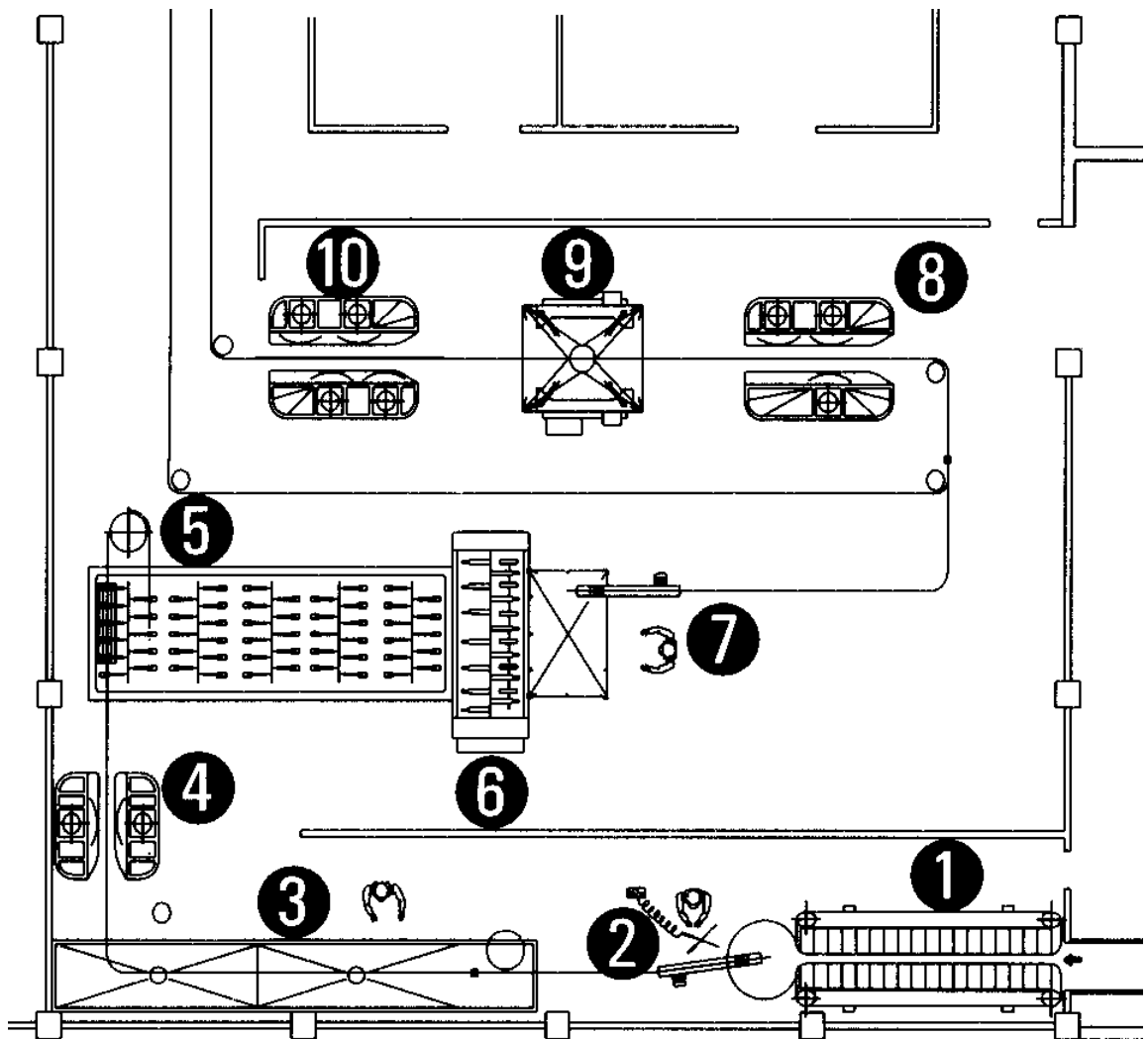
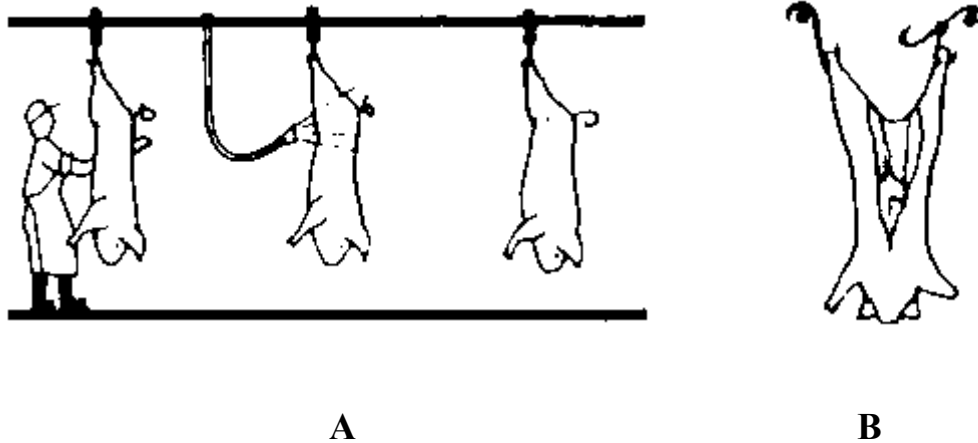
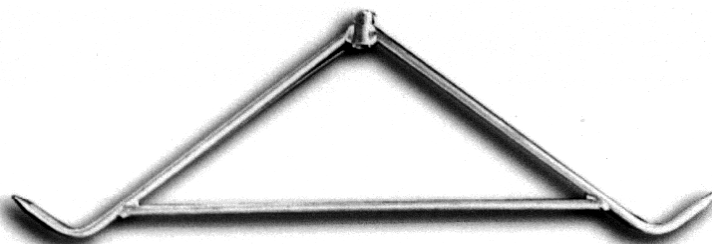


Figura 16.
Sistema de ganchos pendulares (Banss, RF Alemania).



El sistema de perchas de separación permite el faenado lateral de los animales, a la vez que van avanzando por la cadena. El principal inconveniente de estos sistemas es el excesivo tamaño de las perchas (55-80 cm), lo que hace preciso disponer de un mayor espacio en salas frigoríficas, así como el adaptar sistemas de fijación que eviten el vuelco de la media canal que queda colgada, cuando la otra ha sido descolgada.

Figura 17.
Camal o percha de separación (modelo IV-450) para el faenado del porcino (Taesa).



C). Carril transportador

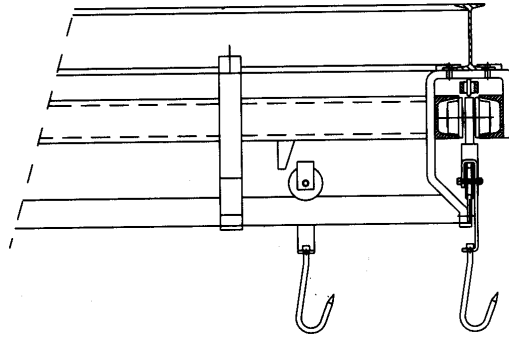
Los sistemas de carril transportador son utilizados habitualmente por los grandes mataderos industriales.

Con ellos se consigue el avance continuo de las canales mediante sistemas de propulsión automatizados, desde que son izadas hasta que salen de las salas de refrigeración hacia el despiece, a excepción de su paso por la peladora, donde la canal abandona la cinta transportadora haciéndola bascular, para que posteriormente, vuelvan a ser izadas tras abandonar la máquina peladora.

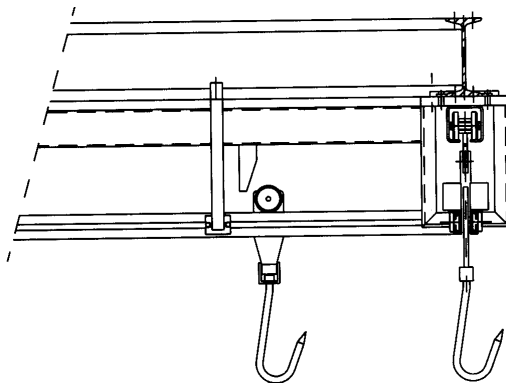
La mecanización de los transportadores evita por un lado el esfuerzo que supone el traslado de las canales por parte de los operarios, y por otro lado, marcan un ritmo de producción constante, si bien, el carácter giratorio de las perchas, permite que la canal pueda girarse durante su faenado a conveniencia del operario, facilitando de este modo dichas operaciones durante el avance de las canales. Con ello, el transporte de las medias canales obtenidas se hace mediante cadenas sin fin, utilizando para ello perchas o ganchos rodantes, o deslizantes.

Existen básicamente tres tipos de cadenas para la mecanización de las vías de transporte suspendido, que se pueden adaptar indistintamente en los diferentes sistemas de carriles transportadores, en función a la carga de arrastre a utilizar (Figura 18).

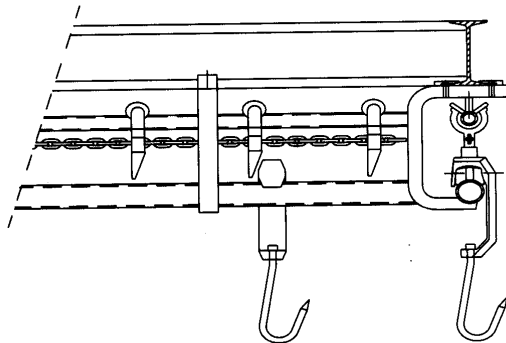
Figura 18.
Transportadores aéreos mecanizados (Taesa).



Modelo CT (capacidad 2 Tn)



Modelo CDA (capacidad 8 Tn)



Modelo CFX (capacidad 12 Tn)

3.2.2. Factores *post mortem*

3.2.2.1. Degüello y desangrado del animal

La técnica de sacrificio utilizada normalmente consiste en el degüello del animal mediante la incisión profunda de los principales vasos sanguíneos localizados en la zona del pecho que confluyen hacia la entrada del corazón por su cara anterior (en porcino la *arteria carótida común izquierda* y la *vena cava anterior*, en vacuno y ovino la *arteria braquial y carótida* poco antes de su bifurcación y la *vena yugular*), tras lo cual, la actividad cardíaca y el pulso hacen fluir la sangre por los vasos cortados.

Según Prändl *et al.* (1994) deben tomarse las debidas precauciones para evitar que durante el corte queden indemnes tanto la traquea como el esófago, con el fin de evitar por un lado la aspiración de sangre en los pulmones, y por otro lado que se ensucien la sangre y el punto de corte con el contenido estomacal.

Como norma general, el tiempo transcurrido entre el aturdido y el degollado debe ser lo más corto posible, y a ser posible, los cerdos deben ser degollados dentro de los 15-20 s posteriores al aturdido, esto es, antes de que se inicie la fase de espasmos clónicos de la musculatura (Tarrant, 1989), ya que conforme aumenta este intervalo, se ha comprobado que el grado de desangrado tras el aturdido con electronarcosis es peor, y además, son frecuentes las hemorragias musculares por hipertensión local de capilares y vasos pequeños (Prändl *et al.*, 1994), así como, el riesgo de fracturas óseas y petequias en las piezas cárnicas de mayor valor comercial (Zert y Polack, 1982b; Anil, 1991).

Para Haumann (1989) la eficacia del desangrado se ve favorecida tras la anestesia con CO₂, a consecuencia del aumento de la frecuencia del ritmo cardiorrespiratorio que se produce.

La incisión del degüello puede realizarse mediante el uso de dos cuchillos de un solo filo, uno para la piel, y otro para el corte de vasos profundos, o bien, mediante sofisticadas máquinas automáticas para la extracción aséptica de la sangre.

Los sistemas automatizados de extracción de sangre, consisten en un sistema giratorio de 8-10 cuchillos huecos tipo trocar para la canalización de la sangre (Figura 19), unidos mediante mangueras flexibles al eje central de la máquina, donde existe un dispositivo aspirante incluido en un sistema cerrado, el cual va girando a la vez que van pasando los animales, recogiendo la sangre por gravedad y enviándola por un sistema canalizado mediante bomba de vacío a las instalaciones de procesado y obtención de plasma. Por su parte, en las cánulas de sangrado se suelen agregar sustancias anticoagulantes para evitar la coagulación de la fibrina en las mangueras de conducción.

Figura 19.
Cuchillo hueco tipo *trocar* para sangrado (Taesa).



Estos cuchillos presentan una hoja de corte de 122 mm (porcino) o 160 mm (vacuno) y dos alas laterales que permiten la fijación del cuchillo, a modo de gancho, una vez se ha introducido en el animal, evitando que la sangre contacte con los bordes de la herida. La base del cuchillo acaba en un tubo hueco que se continúa en un tope para permitir introducir solo la punta del cuchillo.

En el mango, además del sistema de conducción de la sangre, se encuentra una barra metálica que se debe apretar para practicar la incisión, y soltar una vez ha sido introducido el cuchillo en el animal, de tal modo que las alas laterales se fijen e impidan que se caiga el cuchillo.

A pesar del elevado coste de estos sistemas, la poca estandarización para la recogida higiénica de la sangre, y la aparición puntual de contaminación del medio (Chin-Wen Lin *et al.*, 1998), los sistemas de extracción higiénica y automatizada de sangre están empezando a ser implantados satisfactoriamente a escala industrial.

Según las costumbres de cada zona, los animales pueden ser izados y puestos en posición vertical para favorecer así un desangrado más rápido y eficaz, o bien, puestos en posición horizontal para el mismo fin. La posición en la cual es desangrado el animal parece influir, a priori, de una forma significativa en la calidad final de la carne, en función al tipo de anestesia que se halla utilizado previamente. Hölscher *et al.* (1989), comprobó que una posición horizontal para el desangrado, directamente después del aturdimiento con CO₂, influía negativamente en la calidad de la carne. En cambio, para Petrovic *et al.* (1992), la frecuencia de carnes PSE era menor cuando los cerdos eran aturdidos eléctricamente en el restrainer y desangrados en posición horizontal.

El proceso de **desangrado** de los animales transcurre en un periodo de tiempo determinado que va desde que el animal es degollado hasta que éste entra en la cuba de escalde. Con el desangrado se pretende que el animal pierda la máxima cantidad posible de sangre y que entre en estado de parada cardiaca al escaldado, de modo que se evite el acumulo de sangre en las regiones musculares profundas, y que ello comprometa la correcta bajada del pH *post mortem*, así como, el evitar que se produzca la aspiración de líquidos de la cuba de escaldado. Además, la rápida y completa eliminación de sangre garantizan la pérdida de temperatura corporal a unos niveles en los que el procesado tecnológico posterior de la canales no se va a ver comprometido.

3.2.2.2. Escaldado

A). Escaldado por inmersión en caldera

El escaldado en caldera es el tratamiento tradicional más utilizado en la especie porcina, el cual consiste en someter a los animales a un calentamiento húmedo por inmersión en una cuba con agua caliente a 60-62°C, facilitando el posterior pelado tras el raspado de la epidermis en máquinas peladoras. La duración del escaldado es por término medio de unos 5-6 min.

Las calderas de escaldado cuentan con sistemas de calentamiento regulado mediante termostato y con bomba de agitado, así como de aporte y salida del agua. El trabajo continuado se garantiza con dispositivos transportadores aéreos sobre los que cuelgan las argollas que se fijan a las extremidades posteriores de los animales, permitiendo su tránsito por la cuba de escaldado (punto 5, Figura 15).

Desde un punto de vista tecnológico, sería conveniente que los animales no permaneciesen excesivo tiempo dentro de la cuba (no más de 7-8 min), o bien, que la temperatura del agua no fuese excesiva (nunca superior a 67-68°C), pues ello conduciría a la transformación en cola del colágeno cutáneo, con lo que disminuiría la capacidad de conservación y aumentaría la frecuencia de desgarros cutáneos como consecuencia de la pérdida de solidez que exhibiría la piel.

Un inconveniente especial del escalde en caldera es el ingreso de agua de escaldado en la herida de sacrificio y en los pulmones, así como, en los grandes troncos vasculares llegando hasta las arterias femorales, haciendo posible que se puedan dar casos de contaminación profunda de las piezas comerciales correspondientes, con la consiguiente repercusión en los índices de calidad.

Prändl *et al.* (1994) recomiendan la limpieza de los animales mediante la aplicación de duchas antes de entrar al escaldado, así como renovar frecuentemente el agua de escalde tras vaciado completo, desinfección y rellenado, o bien, someter al agua a sistemas de purificación que garanticen la destrucción de los gérmenes.

Para Woltersdorf y Mintzlaff (1996), tanto el sistema de escaldado en caldera como en máquinas combinadas de escaldado y depilado, presentan graves fallos de índole ético y estético derivados de una falta de aceptación generalizada por el hecho de emplear agua sucia en la producción de alimentos, con el agravante de que en los métodos de escaldado donde el agua es conducida por circuitos cerrados se deben emplear sustancias químicas inhibidoras de espuma para evitar que ésta dificulte el proceso de escaldado, que junto con el elevado gasto de energía y agua que presentan, lo hacen ser un sistema poco aconsejable.

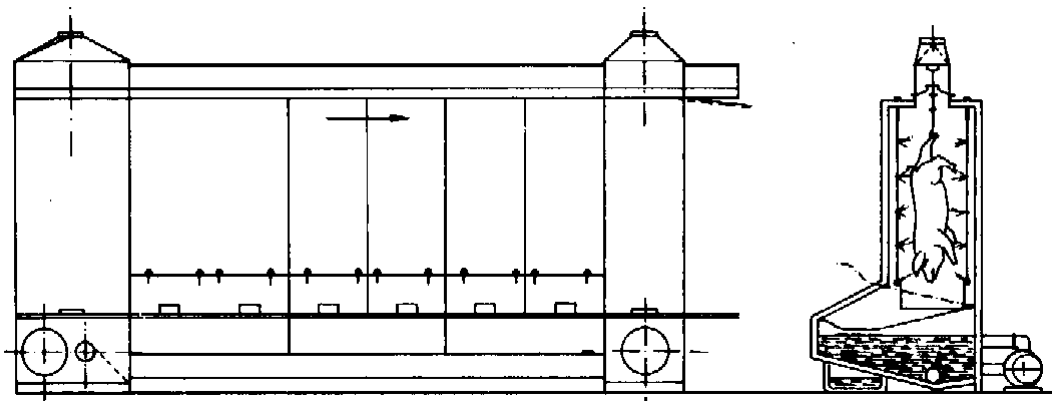
La técnica de escaldado, al igual que el flameado de los cerdos, provoca una elevación de la temperatura en 1°C, presentando un efecto negativo adicional sobre las reacciones bioquímicas del músculo *post mortem*, al acelerarse la glucólisis y la degradación del ATP, debido a la elevada temperatura que presenta el músculo. La consecuencia de todo ello es un descenso de pH y una presentación prematura del *rigor mortis*, lo que sumado al efecto de la elevada temperatura del músculo se convierten en fuertes agentes desnaturalizantes de las proteínas, elevándose en definitiva, la incidencia de carnes PSE (Troeger y Woltersdorf, 1987).

El escaldado en caldera puede ser utilizado alternativamente como técnica de desollado parcial de las canales porcinas para la obtención de la piel del dorso con fines industriales, si bien, rara vez se realiza. Dicha técnica consiste en colocar los animales sobre un carro que atraviesa la cuba de escalde, de tal forma que éstos son escaldados por completo menos por el dorso, separando posteriormente la piel del dorso sin escaldar que será destinada para la preparación de cuero.

B). Escaldado por pulverización con agua

En este sistema la canal permanece suspendida y se la hace pasar por un túnel de pulverización donde se hace circular el agua de escalde mediante bombas, siendo pulverizada sobre la superficie de cada cerdo (Figura 20). El tiempo de escaldado es de 3-4 min cuando la temperatura del agua es de 61°C. Según Prändl *et al.* (1994), la ventaja de éste sistema radica en que se evita la entrada de agua en los pulmones y a través de la herida de sacrificio, pero por el contrario, tiene el inconveniente de que los cerdos deben ser limpiados a fondo antes del escalde, para evitar el aumento de suciedad en el agua recirculante del sistema, además del elevado coste de mantenimiento de esta instalación, cuyo gasto en agua (800-900 litros/cerdo) y energía dificulta sobremanera su implantación en líneas de alta producción.

Figura 20.
Instalación de escaldado por pulverización con agua (H.J. Langer und Söhne AG., Holanda).

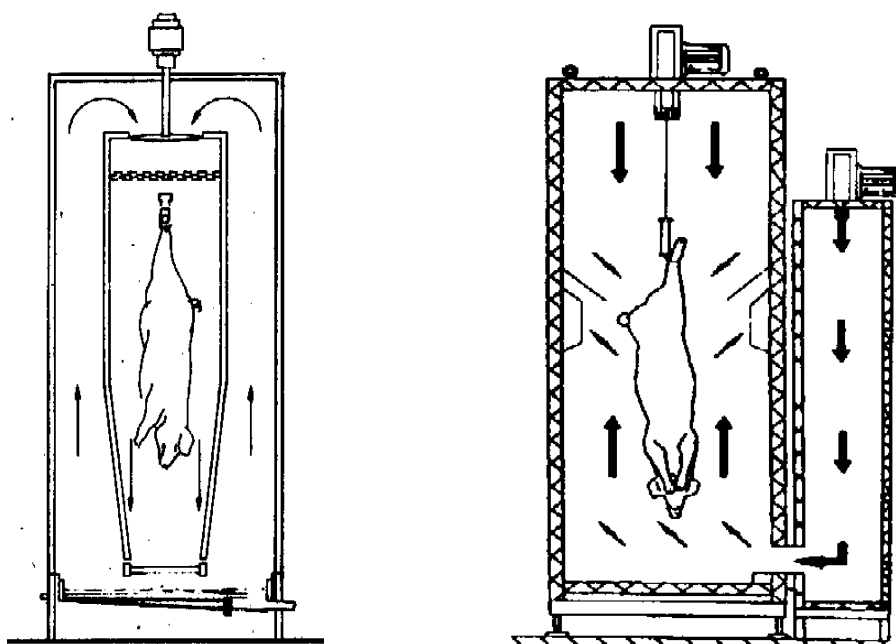


C). Escaldado con vapor de agua condensado

La instalación de escaldado por condensación (Figura 21. MIT AB, Suecia) esta compuesta de un túnel que puede presentar aberturas en forma de manga de entrada y salida (sistema *Ekstam*) o bien elementos tipo sándwich recubiertos de acero inoxidable (sistema *Simrishamn*). El túnel se completa mediante diferentes módulos que se adaptan sucesivamente permitiendo el transporte aéreo de los cerdos, los cuales presentan una separación de 60 cm entre ellos.

La instalación trabaja con aire en circulación que es humedecido con vapor y agua, de modo que el vapor generado fuera del espacio interior del túnel es dirigido hacia arriba, donde una serie de ventiladores lo introducen en el túnel de escaldado, y allí, un sistema de agua fría reduce su temperatura a 62-64°C y lo condensa.

Figura 21.
Escaldado con vapor condensado en sistemas *Ekstam* (izq.) y *Simrishamn* (dcha.) (MIT AB, Suecia).



De este modo, las gotitas de agua caliente finamente pulverizada así originadas, llegan desde arriba hasta la superficie de los cerdos y desarrollan el efecto del escaldado (sistema *Ekstam*), o bien, existe la posibilidad de que el aire caliente y húmedo que penetra en el espacio interior del túnel se condense sobre la superficie de la canal relativamente fría provocando con ello el efecto de escaldado (sistema *Simrishamn*). El efecto óptimo de escaldado se suele conseguir después de 6-7 min de escaldado a 61-62°C con un consumo de unos 3,5 kg de agua en forma de vapor, por cada cerdo.

Esta técnica presenta importantes ventajas como son la ausencia de recirculación del agua condensada, evitando la contaminación y recontaminación de los cerdos por el agua de escaldado, una gran reducción en las necesidades de agua sin necesidad de emplear sustancias químicas para la inhibición de la espuma, posibilidad de escaldado de todo tamaño de cerdos, desprendimiento por si solo de las pezuñas, ausencia de sobreescaldado en caso de paradas de la línea de matanza, escaldado más estético y posibilidad de un lavado sencillo de la instalación (Woltersdorf y Mintzlaff, 1996).

Todas estas ventajas, junto a la disponibilidad de poder adaptarse a líneas de alta producción (rendimiento 60-300 cerdos/h), y a pesar de que precisa de una limpieza a fondo de los animales antes de su entrada al escaldado con el fin de reducir al mínimo el contenido de gérmenes en superficie (Prändl *et al.*, 1994), hacen de la técnica de escaldado por pulverización con agua, la mejor alternativa al escaldado por caldera.

3.2.2.3. Desollado

El desollado consiste en la separación del tejido subcutáneo de la piel, es decir, de la epidermis y la endodermis. La técnica del desollado total se practica de forma habitual en el ganado bovino, equino, ovino y caprino, si bien, en el porcino es una practica poco habitual, a pesar de que presenta ciertas ventajas.

Prändl *et al.* (1994) cifran estas ventajas en una menor inversión económica al prescindir de las fases de escalde, pelado, flameado y apurado final, ahorrando en disponibilidad de espacio y en consumo de energía eléctrica y agua, así como en una notable disminución de la tasa de gérmenes en la canal cuando se utilizan maquinas para tal fin.

Para Troeger y Woltersdorf (1987), el uso de la técnica del desollado podría contribuir a la obtención de una materia prima con un bajo contenido microbiano, al prescindir de las técnicas de escaldado-depilado y su efecto negativo sobre las cualidades fundamentales de la carne fresca.

Las desventajas higiénicas que presenta el escaldado frente al desollado, quedan registradas en la bibliografía. Salm *et al.* (1978), hablan de las ventajas higiénicas de las técnicas de desollado frente al escaldado y de la posibilidad de contribuir en la obtención de una materia prima carne con bajo contenido bacteriano. La carga microbiana superficial de las reses desolladas, también presentaba una distribución diferente, de tal modo que aquellas partes que habían sido tratadas manualmente presentaban un mayor número de gérmenes que aquellas otras que habían sido desolladas mecánicamente.

También se han descrito mejoras en las características tecnológicas de la carne, al usar la técnica de desollado en vez del escaldado. Voogd (1983), encontró en los EE.UU. que los cerdos sometidos a desollado, en vez de escaldado y depilado, presentaban una musculatura de color más oscuro, con mejor capacidad de retención de agua y mayor ternura. Takacs y Biro (1985), comprobaron en Hungría que el desollado de los cerdos presentaba una menor proporción de carnes PSE, especialmente en el jamón, frente a los cerdos escaldados y flameados.

Según Troeger y Woltersdorf (1987), las elevadas concentraciones de ATP en los músculos de las canales desolladas, poco después de su faenado, adquieren un interés especial cuando se quiere realizar el procesado de la carne en caliente, en cambio, si dicho procesado en caliente se realiza en animales sensibles al estrés que han sido sometidos a escaldado, una disminución del pH en 0,15-0,20 unidades y un contenido de ATP menor, debidas al escaldado, ponen en riesgo el éxito en el procesamiento de la carne caliente.

3.2.2.4. Pelado de los cerdos

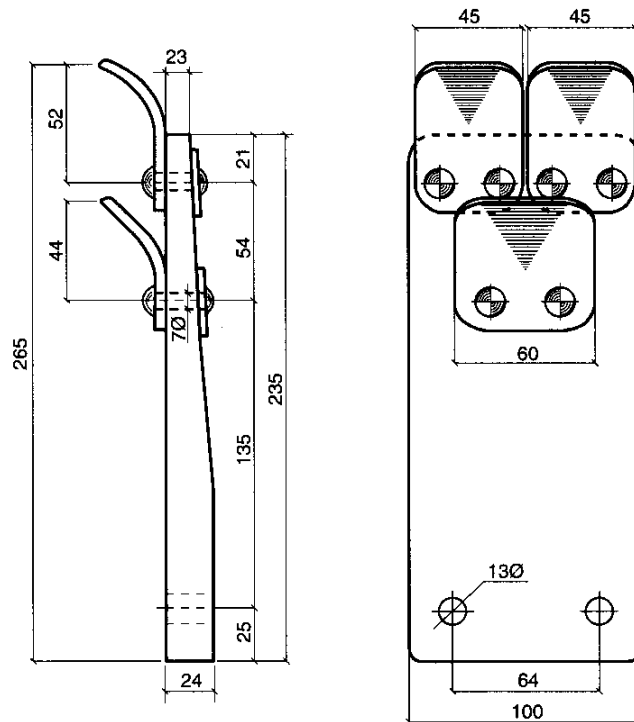
Esta técnica permite el rasurado y depilado de la piel de los animales favoreciendo su aptitud para el procesado posterior. En este sentido, se tiene que favorecer la aplicación del depilado del animal lo antes posible, con el fin de evitar que la superficie cutánea se enfríe demasiado y la eficacia del rasurado posterior se vea mermada.

La *peladora*, según los modelos, puede quedar integrada con las funciones de escaldado en una misma máquina, o bien, ser una unidad independiente de pelado, con rendimientos que oscilan entre 30 y 800 cerdos/h.

En líneas generales, suele estar formada por una cabina hueca de tamaño variable que presenta un gran eje central con rodillos rotatorios revestido de goma que giran sobre sí mismo mediante sistemas hidráulicos o neumáticos, y del que sobresalen las palas depiladoras (Figura 22). Estas palas son unos bastidores rectangulares de material plástico con tres cuchillas metálicas, dos superiores más pequeñas y una inferior más grande, cuya acción raspadora permite ir depilando y rasurando la piel de los animales.

Las unidades combinadas de gran rendimiento, suelen estar ligeramente inclinadas para favorecer que los animales progresen en rotación hasta la salida de la peladora, mientras que en los sistemas independientes, los animales una vez acceden a su interior, son volteados constantemente en la misma posición hasta el final del proceso, siendo entonces expulsados lateralmente de la máquina, de forma automática.

Figura 22.
Diseño de palas depiladoras tipo E (Turbo-Las).



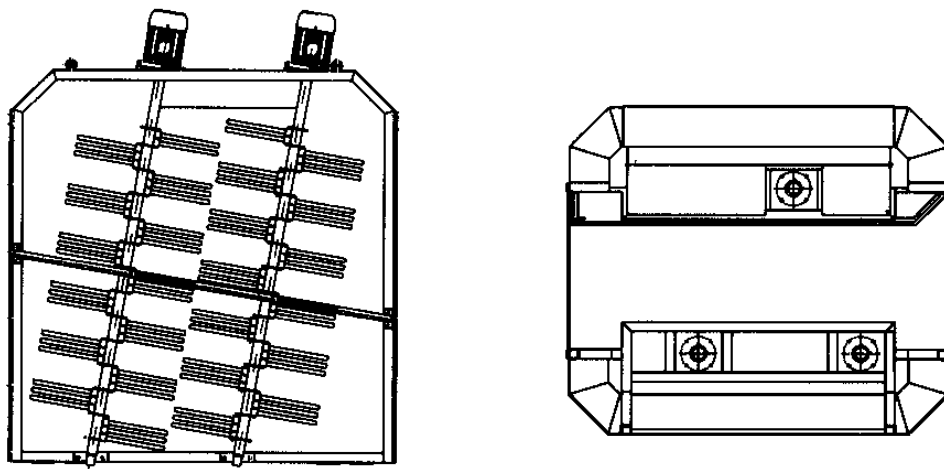
El proceso de pelado realizado con estas piezas se ve acompañado de un duchado constante de los animales, mediante un sistema de agua caliente a 60°C, con el fin de eliminar los pelos y cerdas residuales. La mayoría de máquinas peladoras están concebidas para trabajar de forma continua con sistemas de rociado o duchado, al incorporar unos pequeños tanques de agua y hacerla recircular gracias a un sistema regulado por una boya conectada mediante un circuito eléctrico a una válvula de entrada de agua.

Según Prändl *et al.* (1994) para conseguir un buen resultado en el pelado de los cerdos, es conveniente utilizar tiempos de escaldado de 5,5-6 min a 61°C, aumentando en 1-2 min dicho tiempo durante las estaciones de otoño e invierno.

Aunque la influencia del depilado sobre los índices de calidad de la carne son mínimos, para Troeger y Woltersdorf (1987), la combinación de los procesos de pelado y escaldado a que son sometidos los cerdos durante el pelado, debido al efecto térmico y mecánico, aceleran las reacciones bioquímicas *post mortem* en la musculatura de aquellas partes de la canal especialmente expuestas, como son la costeleta y parte exterior del jamón (cuadrada).

Antes de someter a los cerdos al flameado, éstos suelen pasar por máquinas *flageladoras* para el apurado de pelos residuales de los animales y la eliminación del exceso de agua en superficie (Figura 23).

Figura 23.
Cabinas flageladoras (Taesa). **Izq.** (vista lateral); modelo L-2, 264 látigos en 2 columnas. **Dcha.** (vista superior); modelo S-3, 396 látigos en 3 columnas.



La cabina flageladora suele estar formada internamente por unos rodillos de localización lateral de donde salen los latiguillos, que son unas largas tiras de goma dura altamente resistentes al desgaste por fricción y torsión, las cuales presentan unos salientes que permiten rasurar la piel de restos de pelos sin dañarla, una vez accionados, y así poderlos arrastrar con baños de agua constante.

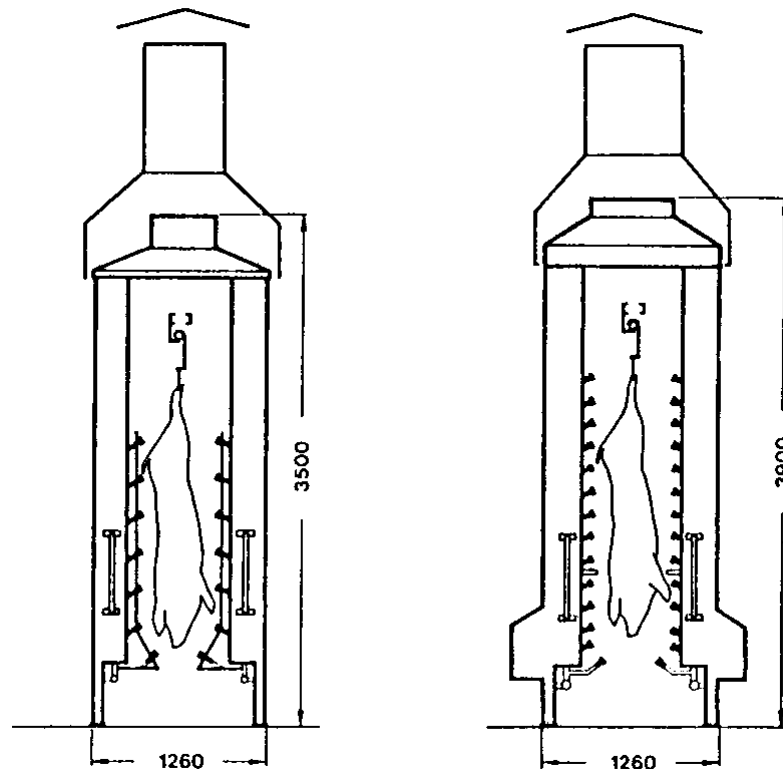
El *flameado o chamuscado* de los cerdos supone el repelado o rasurado de los pelos y cerdas residuales que han resistido las fases anteriores, mediante el quemado de la superficie corporal del animal.

Se pueden encontrar hornos de flameado alimentados con llama de gas, los cuales trabajan durante 6-8 s por cerdo, alcanzando temperaturas de 900-1000°C, y también hornos de flameado alimentados con aceite, típicos de la industria del bacón, que trabajan durante 8-15 s por cerdo a una temperatura de 1700-2000°C.

Las cabinas de flameado alimentadas con llama pueden utilizar gas natural o gas propano, y están equipadas en sus paredes internas por un gran número de difusores de gas, los cuales se activan automáticamente por medio de un encendedor de ionización, una vez que los animales entran a la cabina, desprendiendo una gran llamarada sobre todo el cuerpo del animal durante unos pocos segundos. La longitud de la llama se controla mediante discos reguladores de entrada de aire y agujas de inyección (Figura 24).

A la vez, la intensa acción del calor provoca la retracción del colágeno nativo cerrando los poros de la piel, y una importante reducción de microorganismos en superficie (Prändl *et al.*, 1994).

Figura 24.
Hornos chamuscadores (Banss). 4 filas de boquillas de flameado con 7 (izq.) ó 14 (dcha.) boquillas por fila.



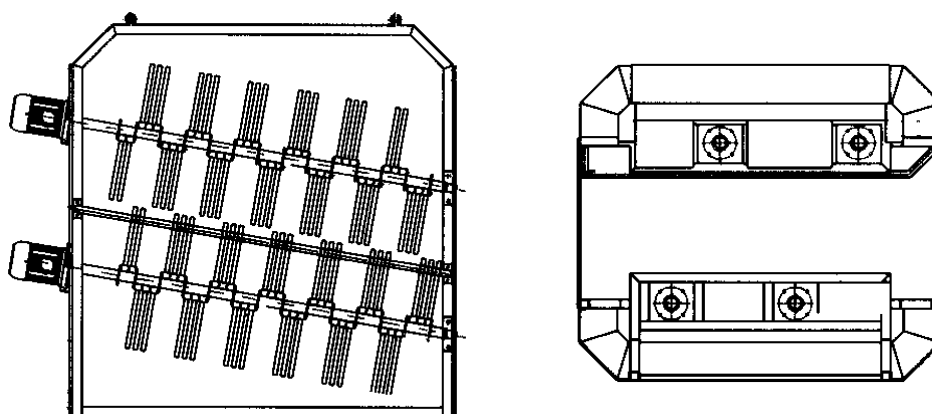
Para evitar dañar la piel por efecto del fuerte calor seco producido por el flameado, endureciendo la corteza y dando un color amarillento a la piel, se puede optar por utilizar cámaras calentadas a 600°C para el paso temporizado de los animales, de forma que sólo queden carbonizados los pelos y no se dañe la piel.

La técnica de flameado de los cerdos puede elevar la temperatura en 1°C, presentando un efecto negativo adicional sobre las reacciones bioquímicas del músculo *post mortem*, y como consecuencia final, elevar la incidencia de carnes PSE (Troeger y Woltersdorf, 1987).

No obstante, gran parte de la temperatura superficial generada en esta fase puede ser eliminada al hacer pasar los animales por las cabinas *pulidoras* o *cepilladoras* para el rascado o raspado de los restos de pelos chamuscados, a la vez que son duchados a alta presión mediante agua a temperatura ambiente (Figura 25).

Figura 25.

Diseño de cabinas para el acabado final. (Taesa). **Izq.** (vista lateral) modelo H-2/4, 2-4 columnas oblicuas con 456 látigos. **Dcha.** (vista superior) modelo R-4, 4 columnas con 528 látigos.



3.2.2.5. Faenado de la canal

En primer lugar, se somete a los animales al *sellado y fijación del recto*. Para ello se practica un corte inciso-profundo alrededor de la abertura natural del ano sin tocar el intestino grueso, con el fin de separarlo de la piel que lo rodea, y de este modo, que no deslice al interior de la cavidad abdominal y ensucie la canal. En el caso de las hembras dicho corte abarcaría toda la zona genital, mientras que en los machos se deberá practicar otro corte para retirar los testículos.

A continuación, se inicia el *eviscerado* de la canal mediante un corte longitudinal a lo largo de la línea media abdominal, desde la pelvis (pubis) hasta el esternón, cortando la sínfisis pubiana con un cuchillo para abrir la parte posterior del abdomen y facilitar la extracción de las vísceras pélvicas y abdominales. Para ello, se agarra el paquete intestinal y se va tirando de él hasta que sea liberado de su cavidad natural, una vez han sido cortados los mesenterios de unión a las fascias internas de la pared abdominal y esófago, por encima de su inserción en el estómago. En las hembras, junto al contenido abdominal se extraen los genitales. Los riñones se liberan en fases posteriores, y el hígado se deja en la canal para luego extraerse junto a las vísceras torácicas. Las vísceras abdominales pueden ser reutilizadas mediante su procesado en salas especiales, o bien, ser decomisadas.

La evisceración de la cavidad torácica precisa del corte de las costillas en el punto de unión cartilaginosa que las une con el esternón, mediante sierra, hacha o cuchilla. Las vísceras torácicas (pulmones, corazón y tráquea con faringe) son liberadas conjuntamente con el hígado, diafragma y lengua, de modo que, se va recortando la musculatura que las une internamente hasta facilitar su extracción. El diafragma se corta sin afectar los pilares diafragmáticos, mediante incisión circular de la musculatura que lo une internamente a la serosa abdominal y torácica. Las vísceras torácicas son colgadas en carros dispuestos de ganchos metálicos, de modo que puedan quedar expuestas y así facilitar su inspección posterior.

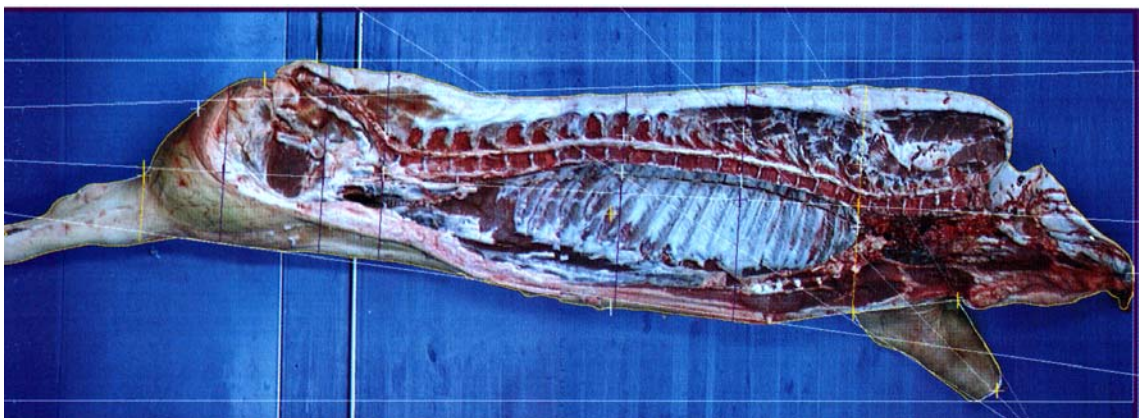
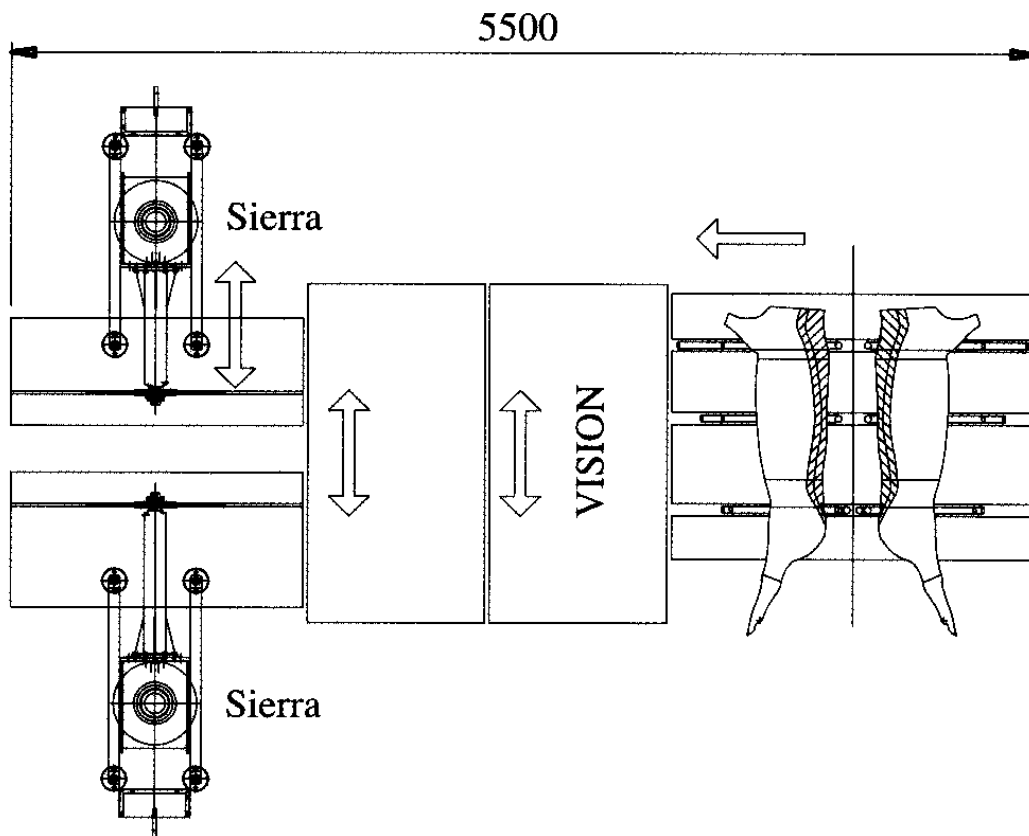
Posteriormente se procede a la extracción de los riñones liberándolos de su correspondiente grasa perirrenal y a la liberación de la grasa de cobertura de la zona abdominal, zona del pecho y de la papada, además de realizar un corte transversal sobre los músculos y vértebras cervicales, para provocar el descolgamiento lateral de la cabeza del animal, o bien, ser seccionada por completo.

El *corte de las canales o esquinado* consiste en la obtención de dos medias canales, con o sin cabeza, desprovistas de vísceras y preparadas para la venta en fresco o el despiece. La división de la canal por su línea media, se inicia mediante un corte poco profundo con cuchilla o sierra de cinta de mano sobre la columna vertebral por su cara interna, dejando abierto el canal vertebral por donde poder aplicar un corte más profundo y completo usando un hacha manual, o bien, una sierra automática. Estos sistemas combinados de corte aseguran la obtención de dos medias canales bien compensadas, permitiendo no generar excesivo serrín óseo sobre la hoja de la sierra, a la vez de favorecer y mejorar las condiciones de trabajo de los operarios.

No obstante, existen instalaciones automáticas para el cortado y obtención de dos medias canales de cerdo en posición horizontal, con ayuda de sierras circulares, que mejoran notablemente las condiciones de trabajo de los operarios y resultan especialmente ventajosos en las instalaciones con cinta transportadora.

De igual modo, después de la refrigeración pueden utilizarse máquinas para el cuarteado de las canales, como el sistema de despiece primario automático para medias canales de cerdo (Figura 26), desarrollado por KJ Maskinfabriken (Esbjerg V, Dinamarca) el cual incorpora un sistema de visión constituido por cámaras en color y diferentes objetivos que se conectan a un ordenador (conexión ISDN), mediante el cual es posible realizar diferentes cortes en la canal sin dañar las partes nobles de la misma, gracias al posicionado cuidadoso de las dos cuchillas giratorias, a partir de la estructura ósea de la canal previamente visualizada. El sistema puede construirse para realizar un corte derecho o un corte sesgado, y puede alcanzar unos rendimientos de hasta 900 medias canales de cerdo por hora.

Figura 26. Sistema de despiece primario automático para medias canales de cerdo (vista superior), y posicionado para el corte mediante el Sistema Visión por cámaras (vista inferior).



3.2.2.6. Peso y clasificación de las canales

Tras la evisceración completa del animal y obtención de las dos medias canales, éstas son pesadas en básculas de precisión incorporadas a la cadena de conducción y clasificadas en relación con su contenido magro mediante la medida de reflectancia interna, para establecer la categorización industrial de la canal antes de ser refrigeradas. En España quedan autorizados los siguientes reflectómetros para la clasificación de las canales de cerdo de conformidad con el Reglamento Europeo 3220/84 (Orden 21-12-88, B.O.E. 22-12-88); FoM (Fat-o-Meater), HGP (Hennessy Grading Probe) y DEST (Destron PG 100), aunque existen otros reflectómetros que pueden ser utilizados para la determinación de calidad de la canal.

En líneas generales, un reflectómetro consta de una sonda que penetra dentro de la piel, llegando hasta el tejido graso y magro, dos diodos en su extremidad, uno foto-emisor y otro foto-receptor y un potenciómetro que devuelve la señal de reflectancia de los tejidos traspasados (mayor en la grasa que en el músculo, al ser ésta más clara) (Daumas, 1991).

A) **FoM** (Fat-o-Meter) y **HGP** (Hennessy Grading Probe)

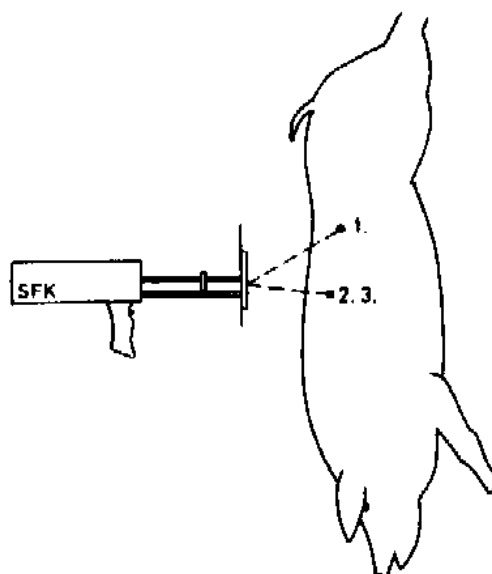
La *sonda FoM*, desarrollada por la firma SFK Ltd., Hvidovre-Denmark, consta de una pistola, un microprocesador y una impresora. La pistola posee una sonda de 6 mm de diámetro en su extremo inferior con una lámpara que emite una fuente de luz (fotodiodo tipo Siemens SFH 950), que pertenece al espectro infrarrojo, la cual es reflectada tras penetrar entre 5 y 105 mm en los tejidos, a una célula fotoeléctrica (fotodetector tipo Siemens SFH 960) que genera una señal analógica que es la suma de la luz reflejada por los alrededores.

La sonda está conectada a un ordenador, el cual procesará los valores registrados de reflectancia en contenido estimado de carne magra, utilizando una fórmula;

$$y: 51,19 - 0,322x_1 + 0,214x_2 - 0,463x_3,$$

que será válida para las canales de un peso comprendido entre 50 y 110 kg, y donde **y**: porcentaje estimado de carne magra de la canal, **x₁**: espesor del tocino dorsal (incluida la corteza) en milímetros, medido en un punto situado lateralmente a 6 cm de la línea media de la canal, entre la tercera y cuarta costillas a partir de la última (punto 2), **x₂**: espesor del músculo en milímetros, medido al mismo tiempo y en el mismo lugar que **x₁** (punto 3), **x₃**: espesor del tocino dorsal (incluida la corteza) en milímetros, medido en un punto situado lateralmente a 6 cm de la línea media de la canal, a nivel de la última costilla (punto 1) (Figura 27).

Figura 27.
Puntos de medida con la sonda FoM (Prändl *et al.*, 1994).



Se trata pues, de una sonda graduada especialmente diseñada para medir el espesor del tejido graso y la profundidad muscular, mediante la distinta reflectancia existente entre ambos (mayor en grasa y menor en carne), con el propósito de estimar el contenido magro (Muñoz y Diestre, 1992). En base a esto, la pistola es capaz de registrar un reflejo por cada 0,5 mm y el conjunto de los reflejos proporcionan un registro a modo de curva, que es utilizado por el microprocesador para calcular el espesor de grasa y músculo, así como el porcentaje de magro en relación al peso de la canal (García, 1992).

La *sonda HGP* fue producida por Hennessy y Chong Ltd. (Auckland, Nueva Zelanda) y su funcionamiento es similar a la sonda FoM, salvo que la luz emitida pertenece al espectro verde-amarillo y su poder de penetración es menor. El equipo está equipado con una sonda de 5,95 mm de diámetro, un fotodiodo (LED Siemens tipo LYU 260-EO) y un fotodetector (Siemens tipo 58 MR) con un alcance operativo de 0 a 20 mm. Los valores registrados de reflectancia serán procesados en contenido estimado de carne magra, utilizando la siguiente fórmula:

$$y : 55,47 - 0,326x_1 + 0,126x_2 - 0,439x_3,$$

en la que los valores y , x_1 , x_2 , x_3 tienen la misma interpretación que para la sonda FoM, e igualmente, será válida para canales con pesos entre 50 y 110 kg.

Estas sondas graduadas fueron diseñadas en un principio para medir el espesor de grasa y la profundidad muscular mediante distinta reflectancia, con el propósito de estimar el contenido magro (Muñoz y Diestre, 1992), sin embargo, pueden ser utilizadas para determinar la dispersión interna de la luz en el músculo (Wal *et al.*, 1987), si bien es cierto que, los valores de calidad en carne estimados por estas sondas son representativos en estudios de amplias poblaciones, y no tanto en casos individuales (Warriss *et al.*, 1991).

Además, los valores de reflectancia interna registrados a los 40 min tras el sacrificio no se corresponden con la calidad final de la carne, y solo en casos extremos, podrían ser significativos para la estimación temprana de carnes PSE (Muñoz y Diestre, 1992). No obstante, se ha comprobado que la sonda FoM proporciona una información fiable sobre las condiciones PSE de las canales (Sack *et al.*, 1984), y la sonda HGP, sobre el conjunto de medidas determinantes de la calidad de la carne (Wal *et al.*, 1987). Además, la sonda HGP puede medir el color del músculo, al igual que la sonda FoM, dando una indicación aproximada de la presencia de carnes exudativas PSE (Diestre, 1992).

B) **DEST** (Destron PG-100)

Esta sonda fue desarrollada por Destron Technologies (Ontario, Canadá) y su uso esta especialmente basado en la determinación del porcentaje de magro de la canal y el espesor de grasa. Su fundamento es similar al descrito para otras sondas ópticas, con la salvedad de que lleva incorporado todo el sistema informático en la propia pistola, lo que permite que pueda ser programada sin estar conectada a ningún accesorio y poder trabajar durante un tiempo determinado sin corriente eléctrica (Diestre, 1992).

El equipo presenta una sonda de 7 mm de diámetro, un fotodiodo (Texas tipo SL 2018) y un fotodetector (Texas tipo LS 608 D) con un alcance operativo entre 0 y 120 mm. A su vez, el ordenador que lleva incorporado traducirá los valores registrados en contenido estimado de carne magra, mediante la siguiente formula:

$$y : 57,28 - 0,601x_1 + 0,126x_2 - 0,214x_3$$

Los valores y , x_1 , x_2 , x_3 tienen la misma interpretación que para la sonda FoM, al igual que los rangos de peso de la canal.

En cuanto a la precisión de los diferentes equipos utilizados para la estimación del porcentaje de magro, existe gran diferencia de opinión por parte de los autores. Diestre *et al.* (1989), realizó un estudio para estimar la precisión de diferentes sondas en el rendimiento magro de la canal (medido entre el 3^{er} y 4^o espacio intercostal) y el espesor de grasa (medido en la última costilla), encontrando los mejores resultados con la sonda DST, seguido de la sonda FoM y en último lugar la sonda HGP.

Sin embargo, ensayos realizados en el Reino Unido demostraron que la sonda DST no alcanzaba los requerimientos estadísticos de precisión de la CE (Cook *et al.*, 1989). Para Usborne *et al.* (1987) no existen diferencias en la predicción del rendimiento magro entre la sonda HGP y la DST. Fortin *et al.* (1984), no encontraron diferencias entre FoM y HGP, pero en cambio, Kempster *et al.* (1979) y Averdunk *et al.* (1983), encontraron que el FoM fue mejor que el equipo HGP.

Por su parte Hulsegge y Merkus (1997) reconocen que la sonda HGP proporciona una predicción mucho más exacta de la proporción de magro de la canal, en comparación a las sondas ultrasónicas estudiadas, *Renco* y *Pie Medical*, particularmente cuando el espesor del músculo es incluido como un predictor, observando que las medidas con estos aparatos ultrasónicos en mataderos pueden presentar problemas cuando las canales son chamuscadas en exceso. En este sentido, Walstra *et al.* (1994) afirman que el uso de sistemas ultrasónicos de medida de las canales a los 45 min *post mortem* no parece factible, a no ser que dichas medidas se lleven a cabo en todas las canales de forma habitual antes del flameado.

C) IntroscoPIO y Sonda Ulster

El *IntroscoPIO* (SFK Ltd. Hvidorvre, Dinamarca) emite una fuente de luz que permite visualizar el borde entre la grasa subcutánea y el lomo, a través de un sistema de lentes y espejos. La fuente de luz puede penetrar en la grasa entre 5 y 50 mm y la medida del espesor es automática. La *Sonda Mark III Ulster*, producida por el Centro de Automatización de Irlanda del Norte (Universidad de Queens, Belfast) es una versión semiautomática de la anterior, funcionando de forma similar, si bien puede realizar la captura automática de datos una vez ha sido conectada a un terminal de procesamiento de datos.

D) Otras Sondas: KSA y SKG II

La *sonda KSA* (Kod-Spaeck-Automatisk, SFK Ltd., Denmark), se fundamenta en su capacidad de detectar la conductividad eléctrica de los tejidos, a un intervalo de 5-97 mm, mediante unos anillos localizados en el extremo de la sonda. La medida de conductividad es recogida y procesada en un microordenador, donde será traducida en valores de porcentaje magro.

Por su parte, la *sonda SKG II* (Schalachtkörpe-Klassifizierungs-Gerät), desarrollada por Breitsmeter (Aichach) y comercializada por Tecpro GmbH (Munich) es una versión desarrollada de la videocámara automática SKG I, capaz de recoger cuatro valores de medida de forma semiautomática una vez fijada la media canal izquierda (Figura 28).

Figura 28.
Puntos de medida con la sonda SKG1 (Prändl *et al*, 1994).



Por un lado, mide el espesor de la grasa dorsal a la altura del músculo *Gluteus medius* mediante una pistola provista de un mecanismo electromecánico (4), por otro lado, mide objetivamente la conformación del jamón mediante principios electromecánicos y electroneumáticos, esto es, el grosor del jamón en la parte más fuerte (2) y el ángulo del jamón mediante un sistema de palpación (1), y por último, mide el grosor de la cintura en la parte más débil de la media canal (3). El aparato está conectado a un ordenador que procesa los valores registrados y los traduce a valores de porcentaje magro de la canal, siendo el espesor de tocino, el factor más relevante a la hora de establecer dicho cálculo.

Por último, y dependiendo de la empresa, se puede establecer una clasificación subjetiva de las canales, la cual precisa de personal cualificado para poder establecer los criterios de clasificación estimados por la industria.

Esta medida subjetiva otorgada por el operario, también conocida como conformación, se establece en función a una serie de criterios, como son la clase comercial estimada según reflectómetro (clasificación Europea S-EUROP, numerada de 1 a 6, donde 1 representa canales con más del 60% magro y 6 con menos del 40% magro), el peso, el sexo, la edad y el estado de grasa de la canal. La canal queda clasificada así en: conformación excelente (E), buena (B), regular (R) y mala (M).

3.2.2.7. Enfriamiento de las canales

El enfriamiento de las canales a nivel industrial, supone uno de los mejores sistemas de conservación para mantener las condiciones óptimas de las carnes antes y durante su comercialización, evitando una rápida descomposición de la misma.

En la fase de refrigeración inicial de las canales, conocida como fase de oreo y donde el músculo se transforma en carne, se hace preciso aplicar frío de manera inmediata con el fin de reducir las elevadas temperaturas que presentan tras el sacrificio. Dicho calor interno debe eliminarse de forma rápida en esta etapa con el fin de mejorar el rendimiento productivo y evitar el incremento del número de agentes causantes del deterioro de la carne.

Según la Reglamentación Técnico Sanitaria vigente (RD 147/1993 de 29 de enero, modificado por RD 315/1996 de 23 de febrero), por la que se establecen las condiciones sanitarias referentes a producción y comercialización de carnes frescas, se debe llegar a 7°C en el caso de las piezas más gruesas de la canal, 3°C en los despojos ó 4°C en canales de aves, en un tiempo máximo de 24 h.

3.2.2.7.1. *Sistemas de enfriamiento*

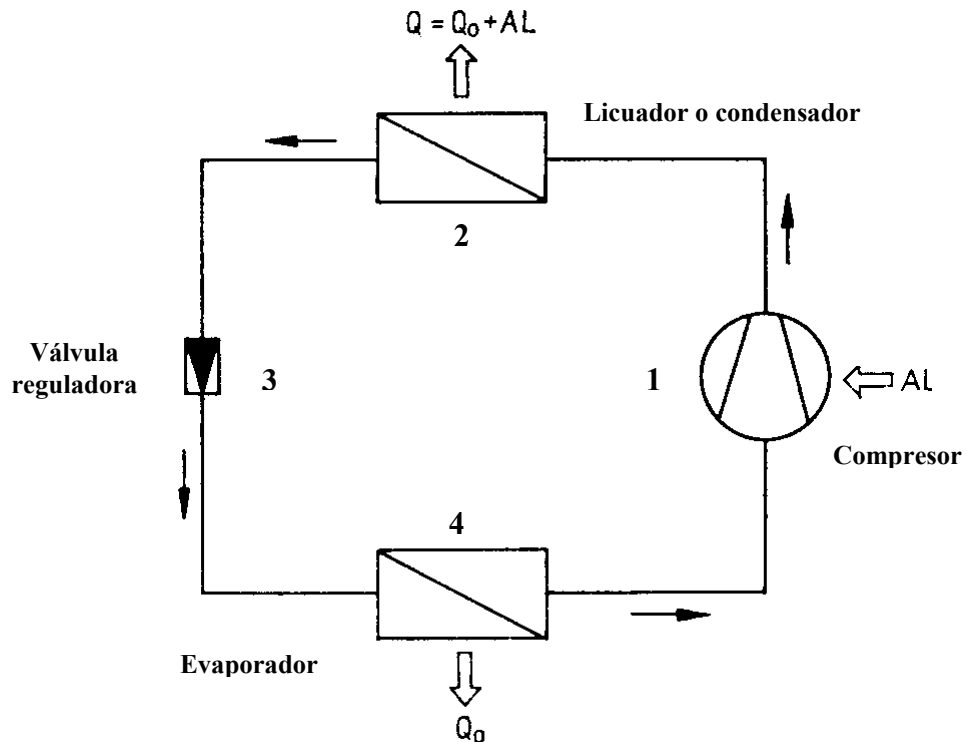
Los primeros sistemas de enfriamiento de canales, datan de la época previa al desarrollo industrial, y consistían básicamente en la aplicación de hielo de forma directa sobre la canal, o bien de forma indirecta, mediante el uso de bandejas superpuestas, al objeto de refrigerar mediante radiación y convección del frío producido. Hoy día, el desarrollo tecnológico ha permitido la incorporación de máquinas frigoríficas en beneficio del desarrollo de las industrias cárnicas, permitiendo obtener productos de mayor calidad higiénica y tecnológica.

En líneas generales, estas máquinas frigoríficas pueden trabajar bajo dos tipos de sistemas, los *sistemas de compresión* (Figura 29) que usan sustancias o líquidos refrigerantes capaces de generar frío, tales como el amoníaco o los hidrocarburos fluorados o clorados. El principio básico de los sistemas de compresión consiste en hacer pasar la sustancia refrigerante por un evaporador (4), donde se produce un descenso de la presión que provoca la evaporación de la sustancia refrigerante, facilitando su absorción en forma de vapor.

El calor requerido para realizar dicho proceso es tomado directamente del entorno frigorífico o bien de las canales a enfriar, con lo que se consigue el deseado efecto refrigerador. Al poner en funcionamiento el compresor (1), éste absorbe del evaporador la sustancia refrigerante en forma de vapor, siendo condensada de nuevo a estado líquido al hacerla pasar por un sistema licuador sometido a la acción de una presión elevada (2), generando un exceso de calor que es eliminado mediante sistemas de conducción de agua fría o corriente de aire. La sustancia refrigerante condensada, pero todavía bajo la presión de condensación, es dilatada o descomprimida al hacerla pasar por la válvula reguladora de estrangulamiento (3) y transportada de nuevo al evaporador donde el refrigerante puede comenzar de nuevo a recorrer el circuito.

Figura 29.

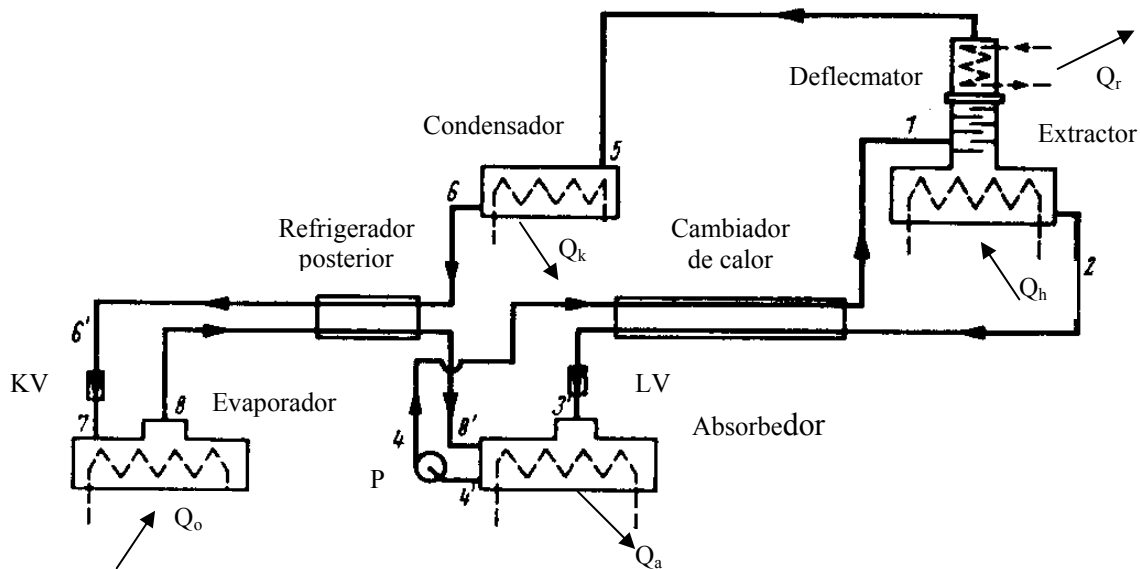
Sistema frigorífico por compresión de una fase (Jasper y Placzek, 1980). Q : cantidad de calor cedida en el condensador, Q_o : producción de frío, L : compresión efectiva, A : equivalente calórico.



Los *sistemas de absorción* (Figura 30), emplean un aparato capaz de absorber el substrato generador de frío del medio disolvente en el que se encuentra, generalmente agua. Estos sistemas generan una potencia frigorífica, consumiendo energía calórica. Al igual que los sistemas por compresión, el medio refrigerante es licuado en un condensador o absorbedor cediendo calor, y evaporado en un evaporador a una presión más baja, absorbiendo calor. La diferencia radica en que el compresor no es mecánico sino térmico, de modo que presenta un extractor hacia donde se hace llegar el calor generado, para luego ser eliminado del condensador.

Figura 30.

Instalación frigorífica de absorción continua, de una etapa (Mörsel, 1973). KV: válvula de regulación del refrigerante, LV: válvula de regulación del disolvente. P: Bomba del disolvente.



Estos sistemas de refrigeración son capaces de llevar a cabo el proceso de refrigeración de distinta forma, básicamente, en función a la diferente capacidad frigorífica y velocidad del aire frío producido. De este modo, podríamos hablar de diferentes sistemas:

A). Refrigeración lenta o en reposo

Los sistemas de refrigeración lenta, suelen trabajar a temperaturas del aire de 0-4°C, y con escaso (0,25-0,5 m s⁻¹) o nulo movimiento del aire y un 90-95% de HR, permitiendo reducir la temperatura de las canales a la mitad de su valor inicial (período de semienfriamiento) en torno a 8 h.

Este sistema presenta una serie de inconvenientes, como es el no permitir una refrigeración homogénea de las canales, presentar una velocidad de enfriamiento demasiado lenta y ser cuestionado desde el punto de vista sanitario, por lo que según Prändl *et al.* (1994) no es un sistema adecuado para ser aplicado a las canales de animales de abasto.

Además, la refrigeración lenta provoca pérdidas de peso en la canal con un considerable efecto negativo sobre el aprovechamiento productivo de su carne. Schaefer-Zeidler *et al.* (1983), cifró unas pérdidas de rendimiento del 1,91%, tras una refrigeración de 24 h a -2°C, y Giegel (1984) en torno al 1,8 y 3,5%.

B). Refrigeración rápida

Son sistemas con una mayor exigencia frigorífica, pues suponen la sustracción acelerada de calor de las canales recién sacrificadas mediante circulación intensa del aire (velocidad de salida alrededor de 5 m s⁻¹) en ambientes con elevada humedad relativa y bajas temperaturas. Los túneles de enfriamiento rápido deben estar diseñados de modo que se permitan que la corriente de aire frío circule en sentido longitudinal, llegando con suficiente fuerza a todas las canales.

Para ello, los túneles de enfriamiento no deben ser excesivamente largos, sino más bien cortos y anchos, para garantizar el retorno de la corriente de aire a los refrigeradores, permitiendo así ajustar la potencia frigorífica y la conducción del aire a las condiciones de espacio disponible.

La conducción del aire puede controlarse mediante la colocación de pantallas guía, la construcción de falsos techos con orificios y hendiduras para la salida del aire (Prändl *et al.*, 1994), o bien, mediante la colocación de los condensadores en diferentes posiciones, como son el techo (Figuras 31 y 32), la pared (Figura 33) o montados sobre los raíles (Figura 34), buscando adaptar la salida del aire a las condiciones de espacio, con el fin de mejorar el tránsito de aire frío sobre la canales (Ortner, 1989).

Figura 31.

Condensador en techo. Aspiración ascendente del aire a ambos lados del condensador y expulsión hacia abajo.

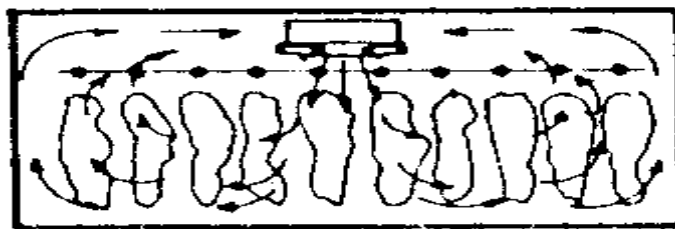


Figura 32.

Condensador en techo. Expulsión del aire a ambos lados del condensador y aspiración ascendente desde abajo.

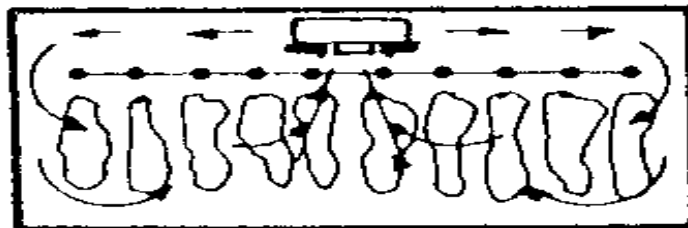


Figura 33.
Condensador en pared. Expulsión del aire paralela a los railes.

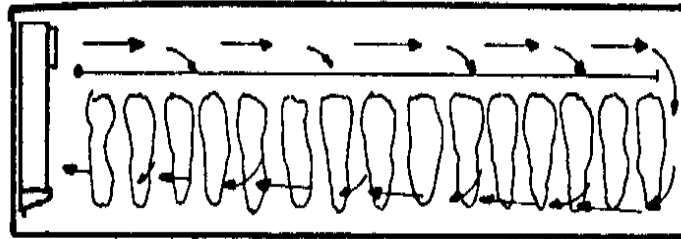
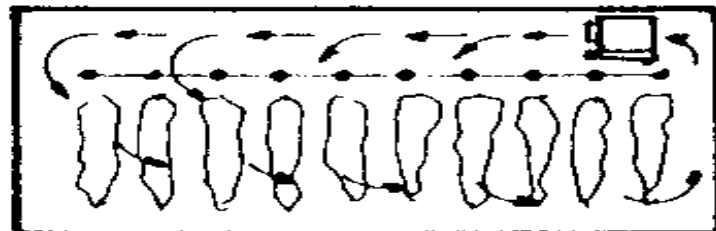


Figura 34.
Condensador montado entre raíl y techo. Expulsión del aire transversalmente entre los railes.



En este sentido, para Kondjoyan y Daudin, (1997) la optimización de los procesos de enfriamiento y almacenamiento refrigerado precisan de una mejora clara en los sistemas de circulación del aire en las plantas frigoríficas.

De este modo, la consecución de una fuente homogénea de aire, a baja velocidad ($0,2-0,5 \text{ m s}^{-1}$) y una baja intensidad de turbulencias del chorro de aire ($<6\%$), podría permitir descensos importantes de la temperatura del aire durante estos procesos, y con ello, reducir las pérdidas de peso en las piezas comerciales, mientras sean respetados los tiempos de refrigeración establecidos en cada caso.

Según Prändl *et al.* (1994) con la refrigeración rápida, la temperatura en el interior de las medias canales de cerdo puede descender por debajo de 4°C en el transcurso de 16 h. Por su parte, Ortner (1989) cifró unas pérdidas de peso del $1,5\%$ para sistema de enfriamiento rápido que necesitaban trabajar durante 12 h a $0\pm 2^{\circ}\text{C}$ para alcanzar los 7°C en la canal, y Klettner (1995) unas pérdidas del $1,8\%$ para 15-18 h de trabajo a $-1/+1^{\circ}\text{C}$.

C). Refrigeración ultra rápida

Se trata de una técnica prácticamente exclusiva del ganado porcino (Ortner, 1989) que utiliza temperaturas por debajo del punto de congelación, de -25 y -30°C , a razón de $1-2 \text{ m s}^{-1}$, con el objeto de reducir el tiempo de refrigeración a unas 3-4 h y el costo del proceso, asegurando en tales condiciones una rápida caída de la temperatura superficial de la canal, minimizando las pérdidas de peso por evaporación, a valores medios comprendidos entre el $0,9\%$ (Klettner, 1995) y el $1,1\%$ (James *et al.*, 1983).

La refrigeración es controlada manteniendo constante la temperatura gracias a un termostato y reduciendo la velocidad a valores de $0,2-0,5 \text{ m s}^{-1}$, para que la carne no se congele en superficie. Incluso, podría ser utilizada para incrementar el periodo de vida útil de la carne, al reducir en gran medida la carga microbiana en superficie (Klettner, 1995).

Sin embargo, como así lo han comprobado Moller *et al.* (1987) y Feldhusen *et al.* (1992), el uso de esta técnica provoca cambios masivos en la estructura contractil del músculo esquelético, en particular el acortamiento de los sarcómeros, determinando el “acortamiento por el frío” de las fibras musculares y consecuentemente, una mayor dureza de la carne.

En este sentido, Honikel *et al.* (1986) encontró que el acortamiento por el frío era menor del 10% utilizando temperaturas entre 10-20°C, y mayor del 50% a temperaturas inferiores a 10°C. Para otros autores, el acortamiento por el frío que sufre la carne de cerdo es poco significativo, debido a la velocidad con la que acontece la glucolisis *post mortem* y a la protección aportada a los músculos por la capa aislante de grasa subcutánea que impide un rápido descenso de la temperatura, mostrando la carne pocas modificaciones en su dureza (Carballo, 1990a).

Tampoco se consigue mediante el uso de esta técnica, evitar efectivamente el desarrollo de las características PSE, sobre todo, en piezas especialmente susceptibles como el jamón, aunque se mejoren ciertos parámetros de calidad como son un color más oscuro, una menor pérdida de jugo y un mejor pH (Woltersdorf y Troeger, 1989). En este sentido, Reagan y Honikel (1985), recomiendan que el músculo alcance una temperatura de 20-25°C en el transcurso de 2-3 h *post mortem* para reducir la característica PSE, sin llegar a 10°C en 5 h, para evitar procesos de acortamiento muscular.

D). Otros sistemas de refrigeración

- Otros sistemas utilizados para la refrigeración de canales porcinas son por ejemplo el descrito por Gígiel *et al.* (1989) como método alternativo a los sistemas convencionales, el cual trabaja a elevada humedad relativa y baja velocidad del aire, siendo enfriado el aire haciéndolo pasar por bloques de hielo.

Estos sistemas presentan unas pérdidas de peso en 24 h, un 0,4% menores que en los sistemas convencionales de enfriamiento, pudiendo aumentar al 1,4% si dichas canales son almacenadas en refrigeración durante los dos días siguientes.

- Los sistemas de enfriamiento por pulverización de agua fría sobre la superficie de la canal a intervalos de tiempo, han permitido reducir de forma satisfactoria las pérdidas de peso durante la refrigeración de canales de cerdo, aves de corral y vacuno, debido a que la superficie de la canal permanece húmeda durante todo el proceso, permitiendo la transferencia de dicha humedad con el entorno sin verse incrementadas las pérdidas de peso propias de la canal (Popov y Dibirasulayev, 1986; Veerkamp, 1986). Sin embargo, para Capita *et al.* (1999) este sistema está poco extendido a nivel industrial debido a que no garantiza la calidad higiénica de las superficies expuestas de las canales al desarrollo de microorganismos, y además, la elevada cantidad de agua necesaria lo hace ser poco rentable.

3.2.2.7.2. *Métodos de refrigeración*

La elección del método mas apropiado para refrigerar las canales va a estar estrechamente relacionado con la especie a refrigerar, su capacidad de conservación en ambientes refrigerados, las pérdidas de peso que puedan sufrir y el plazo de almacenamiento de la carne, sin olvidar las posibilidades técnicas derivadas del coste de inversión y del manejo de las carnes en las salas de despiece.

A). Refrigeración monofásica

Mediante este método de refrigeración la temperatura de la cámara ($\pm 0^{\circ}\text{C}$) permanece constante durante todo el proceso de enfriamiento, hasta que se alcance la temperatura deseada en el centro de las piezas comerciales.

Este método de refrigeración lo encontramos en los sistemas de refrigeración lenta o en reposo de escaso movimiento del aire, el cual permanece constante durante toda la fase, y también en los sistemas de refrigeración rápida, con una velocidad constante del aire en torno a $1-1,5 \text{ m s}^{-1}$ y un 90-95% de humedad relativa. El principal inconveniente de este método es que el centro de la masa muscular permanece a gran temperatura aun cuando la superficie esta refrigerada del todo, precisando de un tiempo para conseguir la refrigeración profunda de la pieza que no es rentable desde un punto de vista industrial

B). Refrigeración polifásica

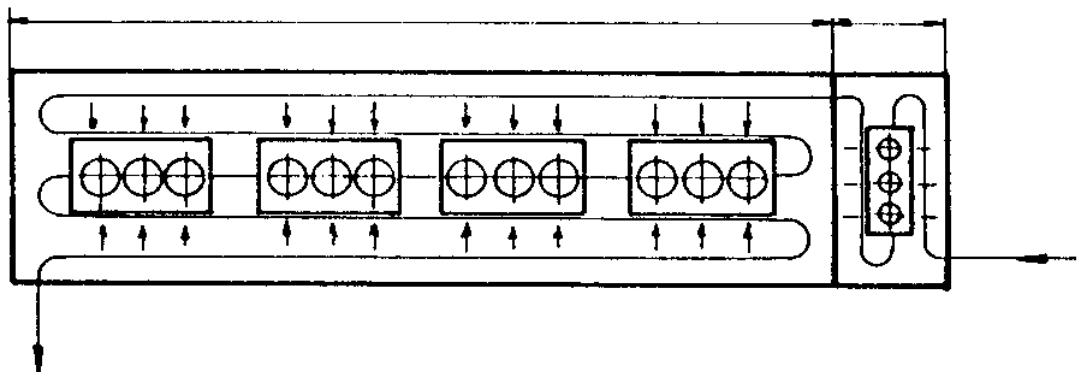
La incorporación de métodos polifásicos de enfriamiento suponen un avance, y a la vez un perfeccionamiento, respecto a los tradicionales métodos estáticos de refrigeración, pues en cualquier caso, emplean sistemas de refrigeración rápida o ultrarápida donde las temperatura de trabajo son muy bajas durante las primeras fases (entre -5 y -20°C), permaneciendo constantes durante un tiempo determinado, hasta que son elevadas posteriormente, combinándolas con movimientos decrecientes del aire conforme avanza la refrigeración, hasta llegar a $0,2-0,5 \text{ m s}^{-1}$ en la última fase.

Según James (1996), con estos métodos se consigue acelerar el tiempo de refrigeración de la carne, alcanzando temperaturas por debajo de 7°C en las piezas más gruesas de la canal en unas 18 h, a la vez que se reducen las pérdidas de peso al incrementarse sustancialmente el rendimiento de la canal de 0,4 a 1,37%.

La refrigeración polifásica está representada generalmente por sistemas de dos ó tres fases. Los sistemas de *pre-enfriado rápido en túnel de dos fases* también conocidos como *choque térmico* consisten en someter a la canal a un doble choque térmico espaciado en el tiempo, a temperaturas de -6/-10°C durante la primera 1,5 h (1ª fase) y temperaturas algo mayores en segunda fase, con velocidades del aire en torno a $1-2 \text{ m s}^{-1}$, permitiendo reducir mucho la temperatura superficial de la canal en la primera fase, y posteriormente, igualarse por equilibrio térmico con la del centro de la masa muscular. Utilizando este sistema, se han encontrado pérdidas de peso durante el enfriado que oscilan entre el 0,95% (Ortner 1989) y el 1,3% (Klettner, 1995).

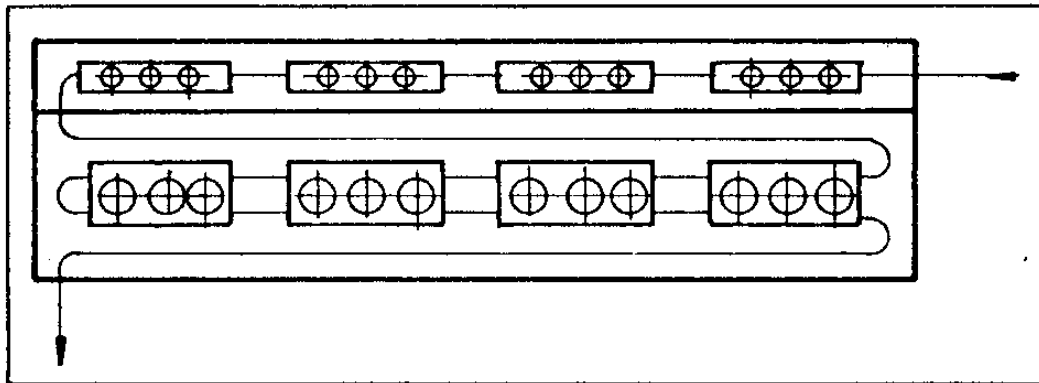
Según Ortner (1989), existen dos diseños básicos para los túneles de choque térmico; los túneles de *choque térmico con compartimento de retención al fondo*, que trabajan a una temperatura menor que el resto de la instalación, con el fin de favorecer la condensación en superficie del vapor de agua desprendido por las canales calientes, en un intento claro de evitar pérdidas de peso en la canal por liberación de humedad (Figura 35),

Figura 35.
Túnel de choque térmico (B) con compartimento de retención previo (A).



y los túneles de *choque térmico con partición*, donde ambas partes trabajan a bajas temperaturas (-8°C), con el fin de intentar prevenir que el vapor de agua liberado por las canales calientes que entran al principio precipite sobre las superficies frías de las canales que se encuentran en una fase avanzada de la refrigeración, y de este modo, evitar el deterioro de la superficie de las carnes por formación de manchas puntuales (Figura 36).

Figura 36.
Túnel de choque térmico con partición.



Los sistemas de *pre-enfriado rápido en túnel de tres fases* utilizan una temperatura en las dos primeras fases de -18°C y -5°C , respectivamente. Con estos sistemas, Hermansen (1982) encontraron que las pérdidas de peso se reducían hasta el 0,7%. Los sistemas de pre-enfriado rápido mejoran la estructura muscular de la canal y en definitiva la calidad de la carne, al verse reducidos, en gran medida, los procesos glucolíticos *post mortem* que acontecen tras el sacrificio (Greshake *et al.*, 1988).

Por su parte, la aplicación del método de refrigeración más apropiado variará según la especie animal de que se trate (Fernández y Jiménez, 1992).

Así, las *canales de vacuno y ovino* se enfrían en salas de oreo a temperaturas que oscilan entre 0°C y +5°C, generalmente por medio de la aplicación de métodos monofásicos basados en sistemas de refrigeración rápida, o bien, pueden ser mantenidas durante 6-24 h a unos 15°C antes de ser sometidas a refrigeración rápida. La aplicación a temperaturas del aire más bajas de 0°C, puede acarrear graves consecuencias en las características tecnológicas de estas canales debido al desarrollo de un mayor grado de acortamiento del sarcómero y, en consecuencia, de una mayor dureza de sus carnes.

En las *canales de cerdo* su peculiar metabolismo *post mortem* hace que apenas sufran procesos de acortamiento por el frío, pero por el contrario, si se pueden ver sometidas al desarrollo de carnes exudativas (PSE), por lo que generalmente son tratadas con sistemas rápidos de refrigeración en varias fases. Normalmente se aplica un choque térmico en dos o tres fases, con una primera etapa a bajas temperaturas (0±2°C) durante un corto periodo de tiempo (1-1,5 h), haciendo pasar las canales por un túnel de enfriamiento con intensa circulación del aire de refrigeración (3-5 m s⁻¹) y elevada humedad relativa (85-90%). En las fases siguientes, la temperatura de la canal desciende paulatinamente hasta alcanzar los valores óptimamente comerciales. Así, un sistema de refrigeración trifásica alcanza los valores óptimos en torno a 12 h, bajo las siguientes condiciones de trabajo;

2ª fase (4 h); T^a: 3-4°C, HR: 85-90 % y 1,5 m/s (aire)

3ª fase (6 h); T^a: 4-6°C, HR: 85-90 % y 0,5 m/s (aire).

3.2.2.7.3. *Conservación a temperatura de refrigeración*

Dadas las características perecederas de la carne y que, en general, desde el sacrificio de los animales hasta la refrigeración y posterior distribución de las carnes, transcurren períodos de tiempo considerables, se hace necesaria la aplicación del frío para la conservación de las carnes (cadena de frío), con el fin de hacer disminuir la temperatura de la canal hasta niveles óptimos de conservación, permitiendo por un lado minimizar las pérdidas de peso y por otro, evitar el desarrollo de agentes causantes del deterioro, cuya proliferación desencadenaría en reacciones degradativas de graves consecuencias higiénicas y tecnológicas.

El frío tiene una acción limitada, pues no puede considerarse ni como agente esterilizante, ni como destructor de enzimas, ya que por un lado, las bajas temperaturas sólo consiguen ralentizar el metabolismo y la multiplicación microbiana, y por otro lado, disminuyen en gran medida la velocidad de las reacciones enzimáticas causantes del deterioro de la carne, pero sin llegar a anularlas. Por tanto, podemos decir que el frío no mejora la calidad de la carne, sino que en el mejor de los casos la mantiene, y es por lo que no resulta recomendable aplicar estos procedimientos a un producto de características no idóneas.

En este sentido, para Frazier y Westhoff, (1993) la conservación a bajas temperaturas representa un significativo factor ambiental, que influye en la clase de flora alterativa predominante. Por ello, Prändl *et al.* (1994) opinan que la capacidad de mantenimiento refrigerado de las carnes queda limitada en el tiempo, en función al desarrollo de microorganismos tolerantes de bajas temperaturas (criófilos o psicrotrópicos), capaces de proliferar a temperaturas próximas a 0°C y condicionar el periodo de vida útil del producto almacenado.

Entre los cambios que acontecen durante el tratamiento por el frío de las carnes, cabe mencionar:

A). Cambios físicos

La mayoría de las modificaciones físicas que se producen al tratar la carne y sus productos a la acción del frío, dependen estrechamente de la fracción de agua contenida en la masa muscular, la cual puede sufrir importantes cambios estructurales relacionados con variaciones de concentración que pueden tener lugar durante el proceso de refrigeración (Jasper y Placzek, 1980). Los fenómenos de evaporación y sublimación, formación de cristales de hielo y los procesos de recristalización, serían un ejemplo claro de ello.

Sin embargo, la principal modificación que puede experimentar la carne durante el proceso de refrigeración es la pérdida de peso por exudación de líquidos. En este sentido, cuanto mayor sea la velocidad de refrigeración y por consiguiente, menor sea el tiempo en alcanzar los 0°C en los frigoríficos, menores serán las pérdidas de peso en la canal, oscilando en cualquier caso, entre valores que van del 1 al 3% (Fernández y Jiménez, 1992), permitiendo reducir las pérdidas por exudado de un 15 a un 10% (Carballo, 1990a).

Por su parte, si las condiciones de la refrigeración son extremadamente rápidas, podría darse el caso de importantes modificaciones de la estructura muscular como consecuencia de los procesos de acortamiento por el frío, derivando finalmente en un aumento de la dureza de la carne. Ordoñez *et al.* (1998) estiman que los procesos de acortamiento muscular se pueden producir cuando la temperatura de la canal se encuentra por debajo de 10°C, entre 0 y 5°C sobre todo, y el pH todavía es mayor de 6,2-6,4, como consecuencia de un exceso de cationes Ca^{+2} en el espacio intracelular y una aceleración de los fenómenos postmortales.

No obstante, tal y como apunta Carballo (1990a), este tipo de procesos es difícil de que se produzcan debido a la importante capa de grasa que cubre las canales porcinas e impide un rápido descenso de la temperatura, y sobre todo, por la rápida glucólisis *post mortem* tan rápida de esta especie.

B). Modificaciones químicas y bioquímicas

De acuerdo con la ley de Van't Hoff's, existe una relación análoga entre la temperatura y la velocidad de las reacciones, en la cual, al descender la temperatura se ralentizan tanto las reacciones químicas como la actividad de las enzimas, sin llegar a eliminarlas del todo, de tal modo que, la velocidad de las reacciones se reduce a la mitad o un tercio del valor inicial si se producen bajo una temperatura inferior a 10°C (Q_{10}) (Klettner, 1995).

Además, la ausencia de la fracción de agua solidificada como vehículo transportador de las sustancias químicas que participan en las reacciones, produce un retardamiento de éstas, reduciéndose de este modo, el proceso de descomposición de alimentos fácilmente perecederos como la carne, al ser sometidos a refrigeración (Jasper y Placzek, 1980).

La principal modificación que sufre el músculo tras la muerte del animal es la que se deriva de una rápida glucólisis *post mortem*, consecuencia directa del metabolismo anaerobio a que son sometidas las reservas de glucógeno muscular, tras cesar el aporte de oxígeno y nutrientes a la fibra muscular. Estas reacciones son, básicamente, la transformación del glucógeno en ácido láctico, reduciendo por un lado el pH, y generando por otro lado ATP, el cual es degradado a ADP+P liberando energía en forma de calor y cuya resíntesis se va viendo cada vez más limitada, como consecuencia del progresivo descenso de pH.

Cuando la glucólisis *post mortem* ocurre durante la refrigeración rápida a bajas temperaturas, se produce una mejora importante en las características de fijación del agua y textura de la carne, tanto en el periodo pre-rigor como en el post-rigor, pues se previene la desnaturalización de las proteínas miofibrilares responsables de las pérdidas por exudación y se retarda la ruptura del ATP responsable de la aparición del *rigor mortis* (Vada, 1977).

Por otra parte, conforme avanza la refrigeración, las superficies musculares continúan perdiendo agua de forma moderada, produciéndose un aumento de la concentración de sales que conduce inevitablemente hacia la oxidación de la mioglobina a metamioglobina, provocando un cambio de coloración en superficie de un color rojo vivo a una coloración pardo-marrón o grisácea característica y a un oscurecimiento del color debido a los cambios ópticos del tejido (Lawrie, 1998).

C). *Modificaciones microbiológicas*

Durante la refrigeración de las canales se observa un aumento progresivo de microorganismos que obedece, entre otras, a la diferente tolerancia a las bajas temperaturas, la disponibilidad de nutrientes, y a las condiciones especiales de temperatura, actividad de agua (a_w) y pH.

La temperatura resulta decisiva para la multiplicación y desarrollo de los microorganismos. A temperaturas próximas a 0°C, se observa un aumento progresivo de microorganismos psicrófilos y psicrotróficos, capaces de limitar la capacidad de conservación de la carne durante la refrigeración (Bem y Hechelmann, 1995). Entre éstos, destacan organismos como *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter* y *Lactobacillus*, en menor medida *Bacillus thermosphacta* y *Enterobacteriaceae*, y rara vez *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Vibrio* y *Aeromonas*.

También se pueden aislar sobre las superficies secas de las canales, microorganismos como *Lactobacillus* y *Micrococcaceae*. Por el contrario, el desarrollo de gérmenes mesófilos queda bastante limitado a temperaturas inferiores a 4,5°C (Klettner, 1995) y por lo general, los gérmenes patógenos no crecen por debajo de 7°C (Carballo, 1990b), si bien, bacterias patógenas como *Salmonella* y *S. aureus* pueden crecer por debajo de 5°C, *C. botulinum* tipo E y algunos tipos B por debajo de 3°C, *C. jejuni* y *L. monocytogenes* a 0°C, y *Y. enterocolitica* y *A. hydrophila* a -2°C. Las levaduras y mohos crecen muy lentamente a bajas temperaturas, sobre todo cuando hay desecación superficial, pero si la humedad relativa es muy alta, aparecen enmohecimientos por *Mucor*, *Aspergillus* y *Penicillium* (Frazier y Westhoff, 1993). En líneas generales, puede considerarse la temperatura de -7°C como límite práctico de crecimiento microbiano (Jasper y Placzek, 1980).

Conforme baja la temperatura, la influencia del desarrollo bacteriano sobre la calidad de las carnes refrigeradas es prácticamente nula, y aunque los enzimas microbianos mantienen todavía parte de su eficacia, éstos sufren una reducción importante a bajas temperaturas, de tal modo que el desdoblamiento de sustancias orgánicas de elevado peso molecular hasta formas más solubles decrece de forma sustancial, limitándose los microorganismos a tomar de los alimentos aquellos compuestos que se hallen en solución (Jasper y Placzek, 1980). En este sentido, Ben y Hechelmann, (1995) apuntan que bacterias como *E. coli* sintetizan ciertas enzimas a una velocidad 350 veces inferior, cuando se encuentran en ambientes refrigerados a 0°C.

Además de la temperatura, la actividad de estos enzimas depende también del contenido y disponibilidad del agua (a_w), y del valor de pH, condicionando en mayor o menor grado la velocidad de crecimiento de los microorganismos y la composición de la microflora de las carnes.

En este sentido, al inicio de la refrigeración el grupo de las *Pseudomonas* representa el 4% el total de bacterias, mientras que después de 14 días en almacenamiento refrigerado, este valor asciende al 84%, y cuando la carne empieza a estropearse supera el 90% (Schreiter, 1981).

Existen otros factores capaces de limitar la capacidad de conservación de las carnes, tales como las condiciones de faenado, las características de la carne, el momento y velocidad de refrigeración, las condiciones de conservación y la disponibilidad de oxígeno (Fernández y Jiménez, 1992).

**IV. ASPECTOS TÉCNICOS
DE LAS INSTALACIONES DESTINADAS AL
SACRIFICIO DE GANADO PORCINO**

En esta fase se procedió a un estudio pormenorizado del proceso de sacrificio y obtención de canales porcinas, con el fin de establecer posibles deficiencias técnicas, tanto en el diseño de las instalaciones, como en el funcionamiento de máquinas y equipos industriales, que pudieran incidir negativamente en la calidad de la carne.

4.1. Transporte del ganado porcino

En primer lugar se procede a describir las características generales de los vehículos de transporte, así como las condiciones en las que se desarrollaron la espera y la descarga de los animales.

Los camiones que llegan al matadero pueden ser de tamaño mediano, diseñados para el transporte de unos 100-125 animales, o vehículos más grandes con capacidad para 225-250 animales, presentando de 2 ó 3 pisos en el remolque, según el caso. Las dimensiones aproximadas de los remolques son de 1,5 m de altura por piso, 8-12 m de fondo y 3 m de anchura. A su vez, cada piso está dividido longitudinalmente formando dos grandes compartimentos, los cuales a su vez pueden quedar divididos en varios compartimentos transversales, mediante un sistema de portales enrejados.

El suelo de los pisos superiores, al ser abatible, favorece los procesos de carga y descarga de los animales, así como su limpieza. Las paredes laterales están formadas por barras metálicas o por tablas de madera, de orientación horizontal y con el espacio necesario para la correcta ventilación.

La densidad de carga media en estos camiones fue de 0,5 m²/cerdo, lo que se ajusta a unos 72 cerdos/36 m²/piso, en camiones grandes, y a 45 cerdos/23 m²/piso, en camiones medianos.

El lugar de procedencia de estos vehículos fue en un 75-90% de los casos, de granjas ubicadas dentro de la región, a distancias comprendidas entre los 50-80 km, un 10-20% de granjas procedentes de regiones limítrofes, a distancias comprendidas entre los 100-150 km, y menos de un 5% de granjas procedentes de otras regiones localizadas a distancias mayores de 250 km.

Una vez en el matadero, los camiones permanecen durante un tiempo medio de 25-30 min, antes de empezar a descargar a los cerdos, en función al número de vehículos en espera y en descarga, presentes en ese momento. Este tiempo de espera es de gran importancia, dada la gran variación y la forma de llevarse a cabo entre el día y la noche, de tal modo que conforme aumenta la demora, los animales se vuelven más intranquilos, se ponen más nerviosos, y en definitiva, la calidad final de la carne se puede ver afectada.

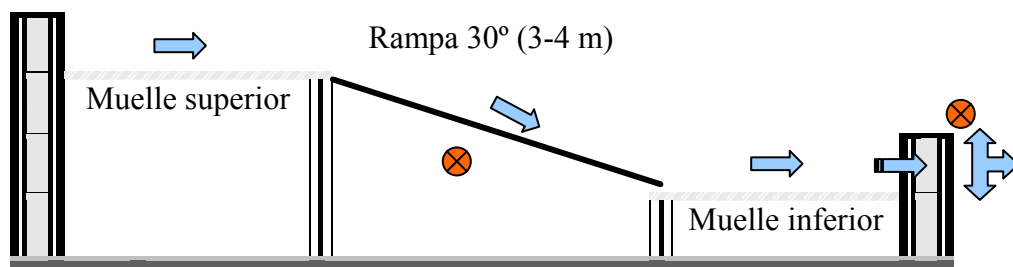
El sistema de descarga de los animales consiste en un elevador hidráulico adosado a la parte posterior del camión, modificable en altura según los pisos a descargar, de tal modo que la rampa que se forma al contactar con el suelo es mínima, favoreciendo el tránsito de los animales. Para tal fin, se utilizan unos muelles dobles provistos de un cargador a 2 m del suelo, para la descarga de los pisos superiores de los camiones, y un cargador a 1,5 m del suelo, para el piso inferior, estando ambos cargadores unidos por una rampa de 30° y 3-4 m de longitud (Figura 37).

El hecho de presentar estas rampas, así como el tener que girar en un ángulo de 90° o de hacer dos giros de 90° , en el peor de los casos, antes de acceder a los pasillos que conducen a las cuadras de estabulación, conlleva al reiterado rechazo de los animales a acceder a los corrales, al verse dificultado el avance de los mismos, habida cuenta del gran número de giros que deben hacer para ello. Además, los cerdos deben ser conducidos por los operarios, mediante el uso de porras o varas de madera, lo cual genera mucho estrés en los animales. En este sentido, sería aconsejable que el acceso de los animales a los corrales desde la zona de carga fuese directo, sin giros y sin rampas, o en su defecto, que éstas fuesen de menos de 30° de inclinación y el suelo antideslizante. De este modo, los cerdos muestran menos inseguridad en los procesos de descarga y se facilita su acceso al pasillo central de forma más rápida sin necesidad de realizar tantos giros. Una vez estabulados, los cerdos se familiarizan rápidamente con los corrales.

Figura 37.

Diseño de un muelle de descarga para camiones de varios niveles.

⊗ Deficiencias de diseño más importantes. → Flujo de los animales.



4.2. Estabulación

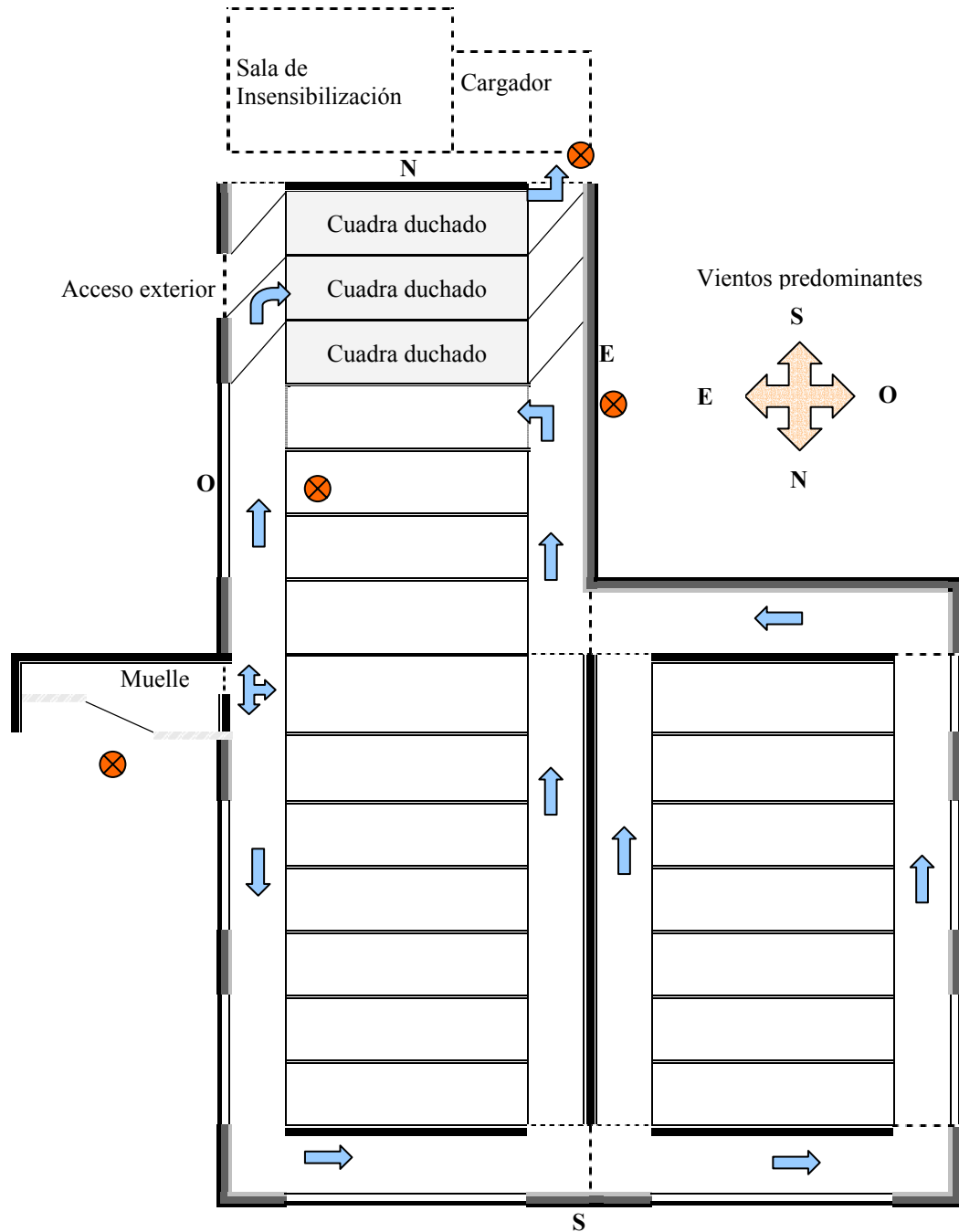
Conforme se descargan los cerdos, éstos son identificados mediante una marca a hierro sobre el lomo, la cual se corresponde con el número de identificación asignado a cada ganadero. Durante el marcado, se cuentan todos los animales que integran el lote, así como, la cantidad de cerdas reproductoras.

Los corrales (Figura 38) para la estabulación de los animales están orientados de tal forma, que la ventilación de los mismos se ve favorecida mediante los vientos predominantes de la zona. Para ello, las cuadras se encuentran abiertas por su fachada oeste, por medio de grandes ventanas formadas en su límite superior por el techo (8-9 m) y en su límite inferior por poyatas de 1 m de altura. En esta zona también se localiza el muelle de descarga. La fachada sur queda abierta mediante ventanas localizadas a 2,5 m de altura, al igual que la fachada este en su parte final, si bien, en su parte más próxima a las cuadras de duchado presacrificio, ésta queda limitada por una pared que dificulta la correcta ventilación de esta importante zona de las cuadras. Al norte, las cuadras comunican con la zona de carga de los animales hacia la sala de aturdimiento.

La ausencia de techados protectores en la fachada oeste, provoca que los animales tengan que soportar una fuerte insolación durante la espera para la descarga, y que el sol pueda penetrar hasta la mitad de las cuadras, determinado numerosas muertes por asfixia si no se aplican duchas de agua a presión sobre los camiones, o se mantienen abiertas las duchas de agua en las cuadras.

Figura 38.
Diseño de las cuadras de reposo.

⊗ Deficiencias de diseño más importantes. → Flujo de los animales.



El techo de uralita forma una V invertida, con unos 15 m en la parte central y unos 10 m en los chaflanes laterales. El suelo presenta una leve inclinación hacia el centro, donde se encuentra un sistema de drenaje que se comunica a lo largo de toda la nave, facilitando la evacuación de las heces y orines producidos durante la estabulación de los animales, junto al agua de las duchas.

Las cuadras permiten alojar a grupos de unos 60-70 animales, y la composición de los mismos puede oscilar entre lotes de hembras, machos o madres, o bien, que estén mezclados, lo cual es lo más común. En este último caso, es frecuente observar intentos de monta de los machos sobre las hembras y también numerosas peleas entre machos. Esta situación repercute negativamente en la integridad física del propio animal, al provocarse numerosas heridas y magulladuras en la piel, así como en un mayor estado de fatiga en los animales implicados, y una mayor intranquilidad y nerviosismo sobre el resto de animales de la cuadra.

Tras una estabulación aproximada de 4-6 h, los animales son conducidos a unas cuadras especiales equipadas con sistemas de duchado mediante aspersores aéreos de agua corriente, con el fin de favorecer su limpieza, así como, el garantizar una mayor estimulación cardio-circulatoria que permita alcanzar un mejor desangrado posterior. Los animales permanecen en estas cuadras por un espacio de tiempo aproximado de 45-50 min, donde son duchados durante 10-20 min. El sistema utilizado para vaciar dichas cuadras plantea ciertas dificultades, si tenemos en cuenta que el operario entra a la cuadra por la misma salida que deben utilizar los animales para dirigirse al corral cargador, provocando con ello grandes estampidas en los animales, disputas, carreras y, en definitiva, un mayor estrés y fatiga. Además, la entrada hacia el cargador presenta un ángulo de 90° hacia la izquierda y un nivel de iluminación insuficiente, que provoca el rechazo constante de los animales a entrar.

4.3. Sacrificio

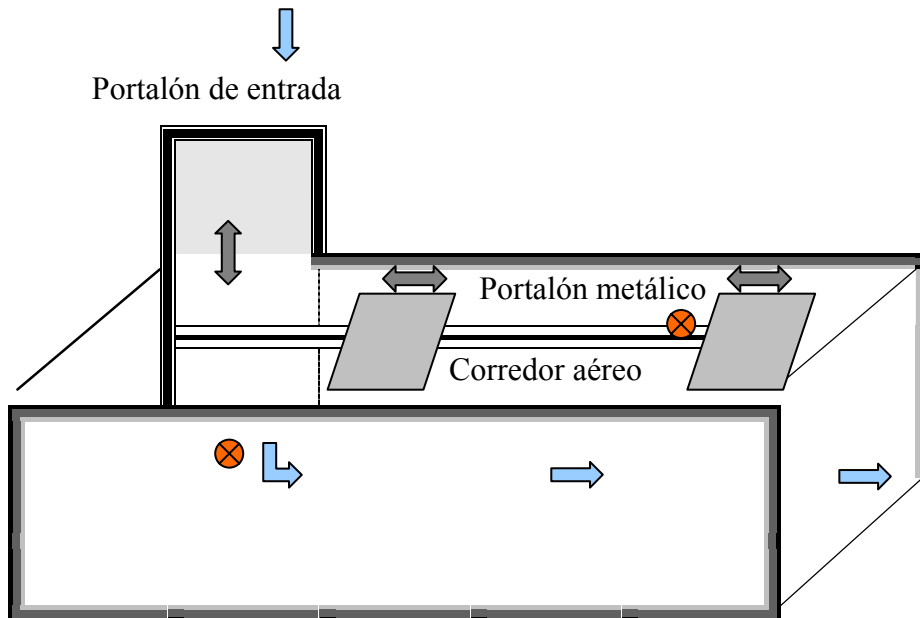
El corral cargador, con unas dimensiones aproximadas de 1,5 m de ancho por 5 m de largo, tiene capacidad para grupos reducidos de 10-15 animales, que permanecerán en él durante escasamente 2-3 min. Esta pequeña cuadra está provista de un sistema automático para la carga y el avance de los animales hacia los pasillos de alimentación de la noria de CO₂. De este modo, mediante un portalón metálico que se abre hacia arriba gracias a un elevador hidráulico, se permite el acceso de los animales. El sistema de avance está constituido por un doble corredor aéreo, por donde circula un portalón metálico unido a un elevador hidráulico que le da movimiento de ascenso o descenso, según el caso.

Una vez introducidos los animales en el cargador (Figura 39) y cerrado el portalón de entrada, el sistema de avance es activado manualmente, de modo que el portalón metálico es elevado, gracias al elevador hidráulico, y desplazado hacia el fondo de la cuadra, donde desciende y empieza a desplazarse nuevamente hacia su posición inicial, arrastrando los animales hacia los pasillos de carga de la noria de CO₂.

El sistema de carga de esta cuadra también plantea dificultades, puesto que los animales ofrecen gran resistencia a entrar a una cuadra tan pequeña, tan poco iluminada y con tantos giros en su recorrido. Además, tras accionar el dispositivo aéreo del cargador, que retrocede hacia el fondo pasando por encima de sus cabezas, los animales se ponen muy nerviosos, más aún cuando el número de animales es excesivo y el portalón no puede retroceder con facilidad, golpeando a su paso a los animales, los cuales se montan unos sobre otros, aplastándose literalmente con los soportes metálicos del cargador.

Figura 39.**Diseño del corral cargador.**

- ⊗ Deficiencias de diseño más importantes. → Flujo de los animales.



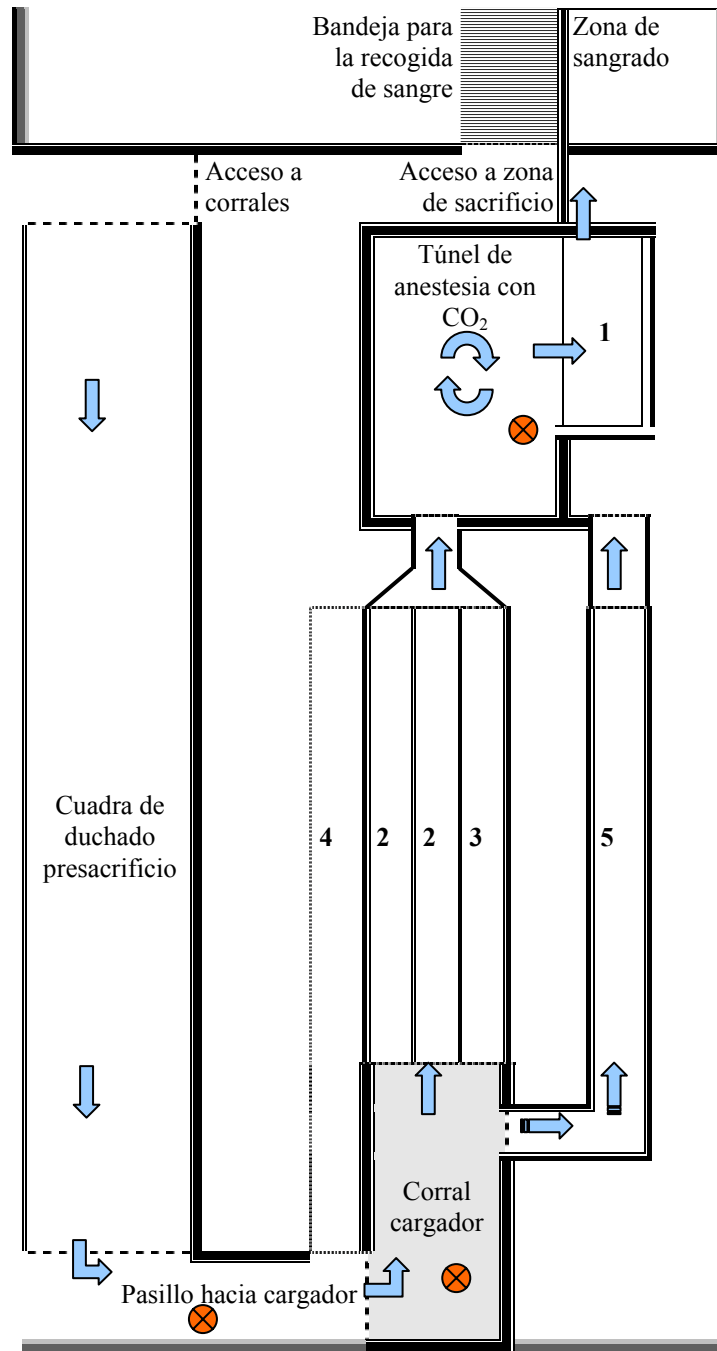
La Figura 40 muestra la zona de insensibilización. Los pasillos de alimentación hacia la noria de CO₂, de 6-7 m de largo por 0,5 m de ancho y escasamente 1 m de alto, están provistos de palancas metálicas que se cierran al paso de los animales, facilitando el avance pero no el retroceso. El avance de los animales por los pasillos se consigue mediante el uso de porras eléctricas sobre el dorso animal, para que estos no retrocedan o se paren. El cargador también presenta una salida hacia un inmovilizador adaptado para la aplicación de electronarcosis como sistema de insensibilización alternativo al aturdimiento con dióxido de carbono, con el fin de que no se paralice la actividad en caso de avería.

Figura 40.

Diseño de la zona de anestesiado.

1. Bandeja de expulsión de animales anestesiados; 2. Pasillo de conducción para cerdos de cebo; 3. Pasillo de conducción para reproductoras; 4. Pasillo para operarios; 5. Vía alternativa hacia electronarcosis.

⊗ Deficiencias de diseño más importantes. → Flujo de los animales.



El aturdimiento de los animales con CO₂ se realiza en un túnel de anestesiado compacto (Figura 41), modelo Combi 66 (Butina Aps), diseñado en forma de noria giratoria sobre un eje central, donde quedan suspendidas 7 cestas con capacidad para 1-3 cerdos, según su tamaño, y un rendimiento máximo de 440 cerdos/h.

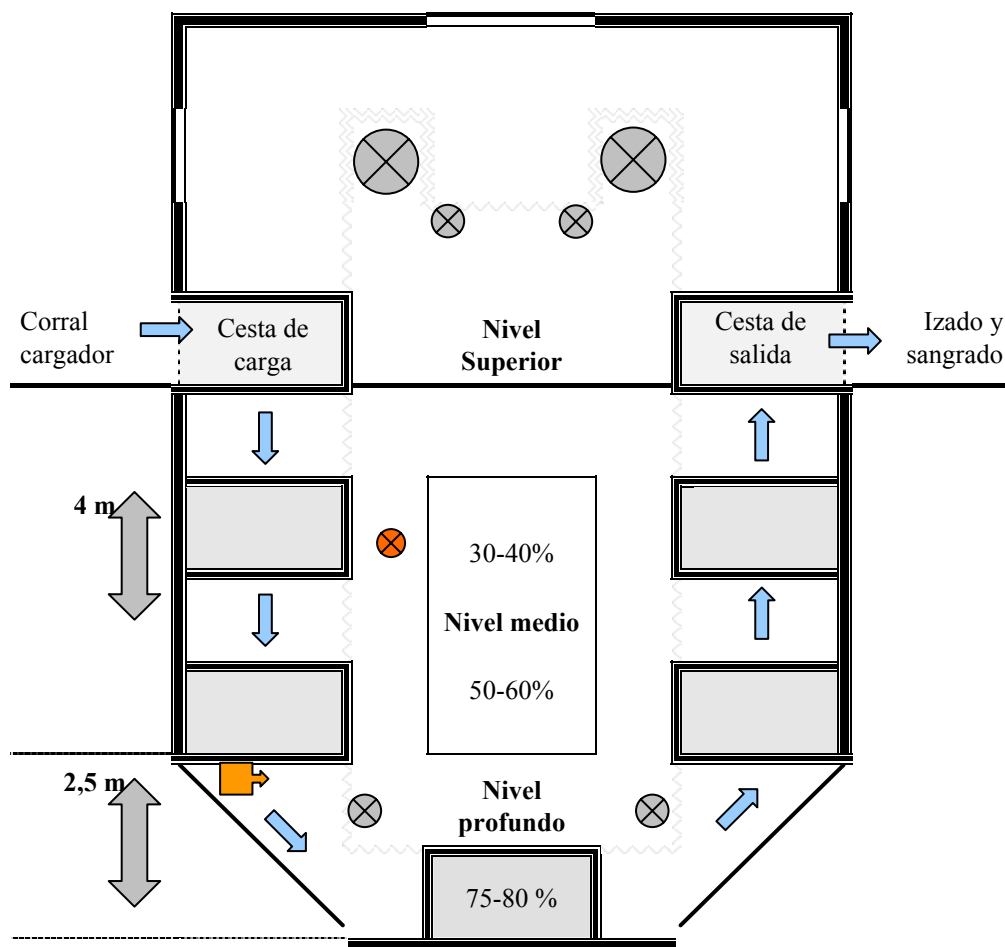
La concentración máxima de CO₂ está fijada en un 80±2% para la posición profunda del foso, pasando por las posiciones intermedias donde la concentración es de un 30-50%, hasta la posición superficial con una atmósfera normal. La sonda que regula la máxima concentración en el fondo del foso, se fijó a 4 m de la superficie, para asegurar dicha concentración desde ese punto hasta el fondo, que llega hasta los 6,5 m, y de este modo conseguir que la máxima concentración de CO₂ se aplique básicamente a la cesta que alcanza esa posición y no a los de posiciones intermedias.

El tiempo que tarda una cesta en recorrer una posición dada y su posición siguiente se fijó en 5,8±0,2 s, regulando la velocidad del motor de la noria. Este desplazamiento es accionado manualmente por un operario una vez han sido cargados los animales a la cesta.

De este modo, el motor regula los desplazamientos de las cestas pero no el tiempo real de permanencia de los animales en la noria, el cual depende del tiempo utilizado para los procesos de carga e izado de los animales, realizados entre desplazamientos. Así pues, hasta que no se han realizado estas operaciones, no se acciona de nuevo el desplazamiento de cestas, el cual suele completar el giro en 1,45-1,50 min aproximadamente. Finalizado dicho giro, los cerdos anestesiados abandonan la noria por un portalón lateral y caen a una gran bandeja metálica desde donde son izados para el posterior degüello.

Figura 41.
Diseño de un túnel de anestesia con CO₂.

- ⊗ Deficiencias de diseño más importantes. → Flujo de los animales.
- ➡ Regulador de expulsión del CO₂.



El izado se realiza mediante la sujeción de una de sus extremidades inferiores con una eslinga metálica modelo EPA (Suteca) provista con sistema de descuelgue automático, de modo que los animales quedan suspendidos con la cabeza hacia abajo y preparados para el degüello. El tiempo entre el izado y el degüello es por término medio, de 30 s.

El degüello y recogida higiénica de la sangre se realiza mediante un extractor de sangre Anitec, consistente en un sistema giratorio de 8 cuchillos huecos tipo trocar, unidos mediante tubos flexibles al eje central de la máquina, la cual va girando a la vez que van pasando los animales, recogiendo su sangre por gravedad y enviándola a una sala anexa donde es procesada.

Aquí se garantiza la asepsia de la sangre, almacenándola en cubas identificadas con un número igual para la sangre de 30 animales, de modo que si alguno de ellos fuese objeto de decomiso, la sangre de la cuba entera sería eliminada. Este sistema necesita una mayor preparación de los operarios, pues al no ver caer la sangre, muchas veces no saben si han practicado una correcta incisión.

4.4. Faenado

Tras el degüello, el animal transita suspendido en la cadena durante 5 min antes de entrar en la cuba de escalde, con el fin de favorecer su completo desangrado (Figura 42). De este modo, la mayoría de animales entran al escaldado en estado de parada cardiaca, y por contra, otros parecen necesitar más recorrido o más tiempo para el mismo fin.

El escaldado se realiza mediante la inmersión de los animales en agua caliente a 63-65°C durante 5-6 min, con el fin de preparar su piel para el depilado posterior. Para ello, la cuba se encuentra recorrida internamente por una tubería con orificios de salida en toda su longitud, la cual presenta un extremo ciego, interno, y un extremo abierto, externo, unido a una válvula de presión de vapor, encargada de dirigir el vapor hacia los orificios de salida, mediante un sistema de membrana, hasta que la temperatura del agua alcance el valor preestablecido.

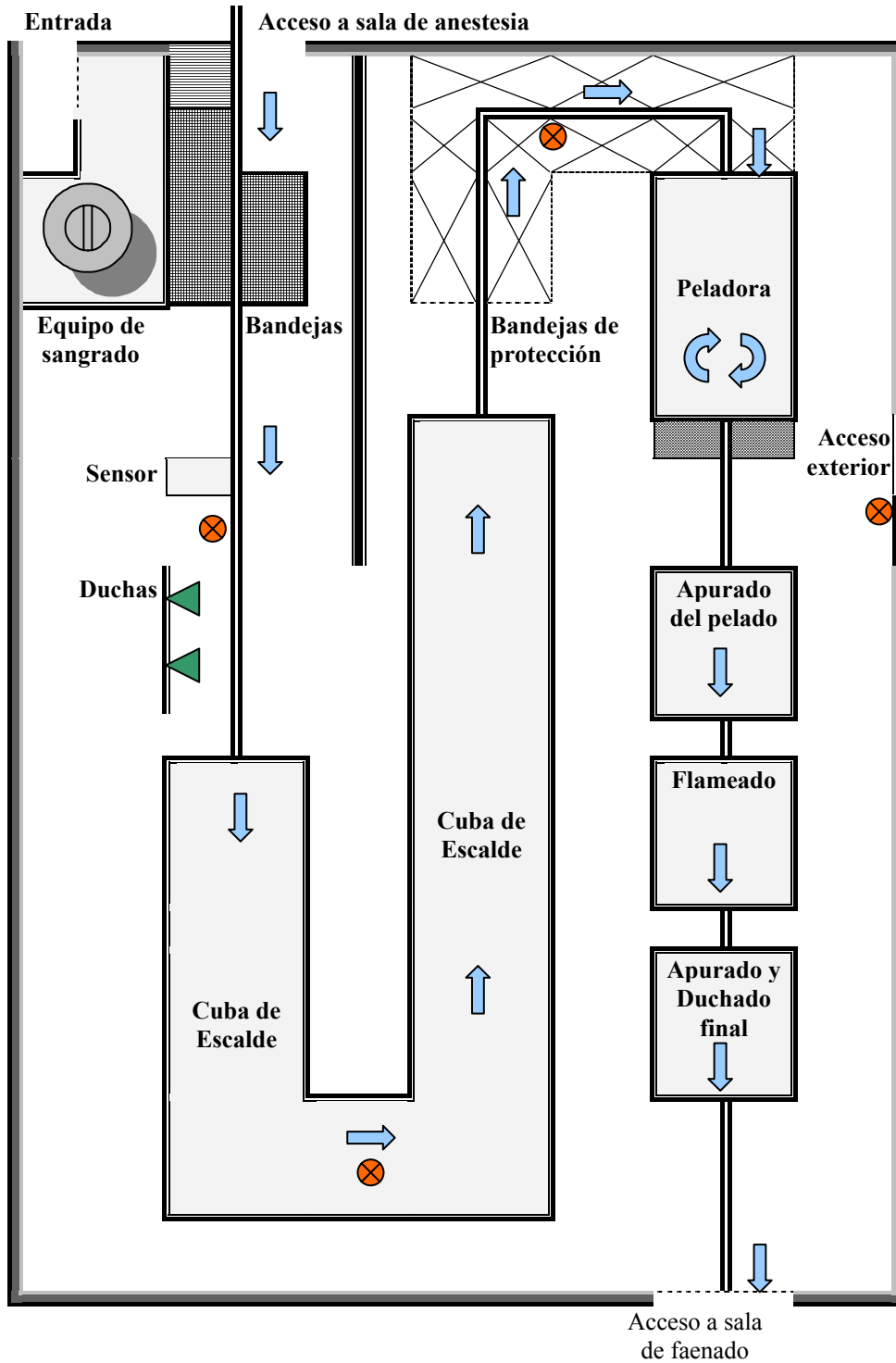
Respecto al diseño de la sala de sacrificio (Figura 42), la cuba de escalde presenta dos giros de 90° a la izquierda, una altura de 1,5 m por 1 m de ancho, y un sistema de tuberías de drenaje para la renovación constante del agua, así como un sistema de desbordamiento, provocado por rebajes del borde superior de la pared de la cuba, que favorecen la eliminación de restos de suciedad acumulados en la superficie del agua.

El principal inconveniente se produce cuando algún animal se atasca en los giros de la cuba, o se detiene la cadena, provocando el sobrecalentamiento de la piel y la aparición de desgarros y roturas importantes tras el pelado posterior. En este sentido, son preferibles cubas de escalde rectangulares o circulares (giratorias), cuando se dispone de espacio suficiente.

Después del escaldado, los animales transitan por un pasillo que describe un doble ángulo de 90° hacia la derecha, antes de enfilarse la peladora, a la cual acceden tras la apertura automática de las argollas y el desplome de los animales sobre la bandeja metálica localizada a la entrada de la cabina. Este recorrido añadido supone la frecuente pérdida de calor en superficie, y en consecuencia, un peor pelado de los animales, más aún cuando permanece abierta la puerta que comunica con el exterior.

Figura 42.
Diseño de la sala de sacrificio.

⊗ Deficiencias de diseño más importantes. → Flujo de los animales.



La cabina de pelado, modelo D-240 (Taesa), constituye una plataforma ligeramente inclinada desde la entrada hasta la salida, con el fin de facilitar el avance de los animales, presentando un eje central que gira sobre sí mismo, del cual sobresalen unas paletas que incorporan unas piezas rectangulares de material plástico con tres cuchillas metálicas, cuya misión es la de ir depilando y rasurando la piel de los animales. A la vez, el pelado se acompaña de un duchado constante con agua a 55-56°C, el cual permite mantener elevada la temperatura corporal y arrastrar los pelos rasurados. El tiempo medio de permanencia en la peladora suele ser de unos 30 s.

Al salir de la peladora, los cerdos son izados mediante la colocación de un par de argollas en las extremidades posteriores, adaptadas a una percha de separación modelo IV-450 (Suteca), y reciben una ducha de agua fría antes de entrar a la cabina de apurado, para eliminar restos de pelos.

La cabina de apurado, modelo L-2 (Taesa), presenta en su interior un par de rodillos localizados lateralmente, provistos de látigos de goma dura con unos salientes que permiten eliminar los restos de pelos de la piel tras arrastrarlos con baños de agua constante. La duración del apurado de pelado es de 1-1,30 min.

A continuación, el cerdo pasa por la cabina de chamuscado, modelo CH-300 (Taesa), equipada en sus paredes internas de difusores de propano que se activan automáticamente una vez que los animales entran a la cabina, desprendiendo una gran llamarada sobre todo el cuerpo del animal durante 4-5 s, si bien, el tiempo total en pasar el animal por el flameador suele ser de 30 s.

Posteriormente, los animales pasan por una cabina de apurado y duchado con agua a temperatura ambiente, modelo H-24 (Taesa), para eliminar los restos de pelos chamuscados y disipar gran parte de la temperatura superficial generada en la fase anterior. Tras salir de la cabina, los animales enfilan un pasillo que les llevará hacia la entrada de la zona de eviscerado del matadero.

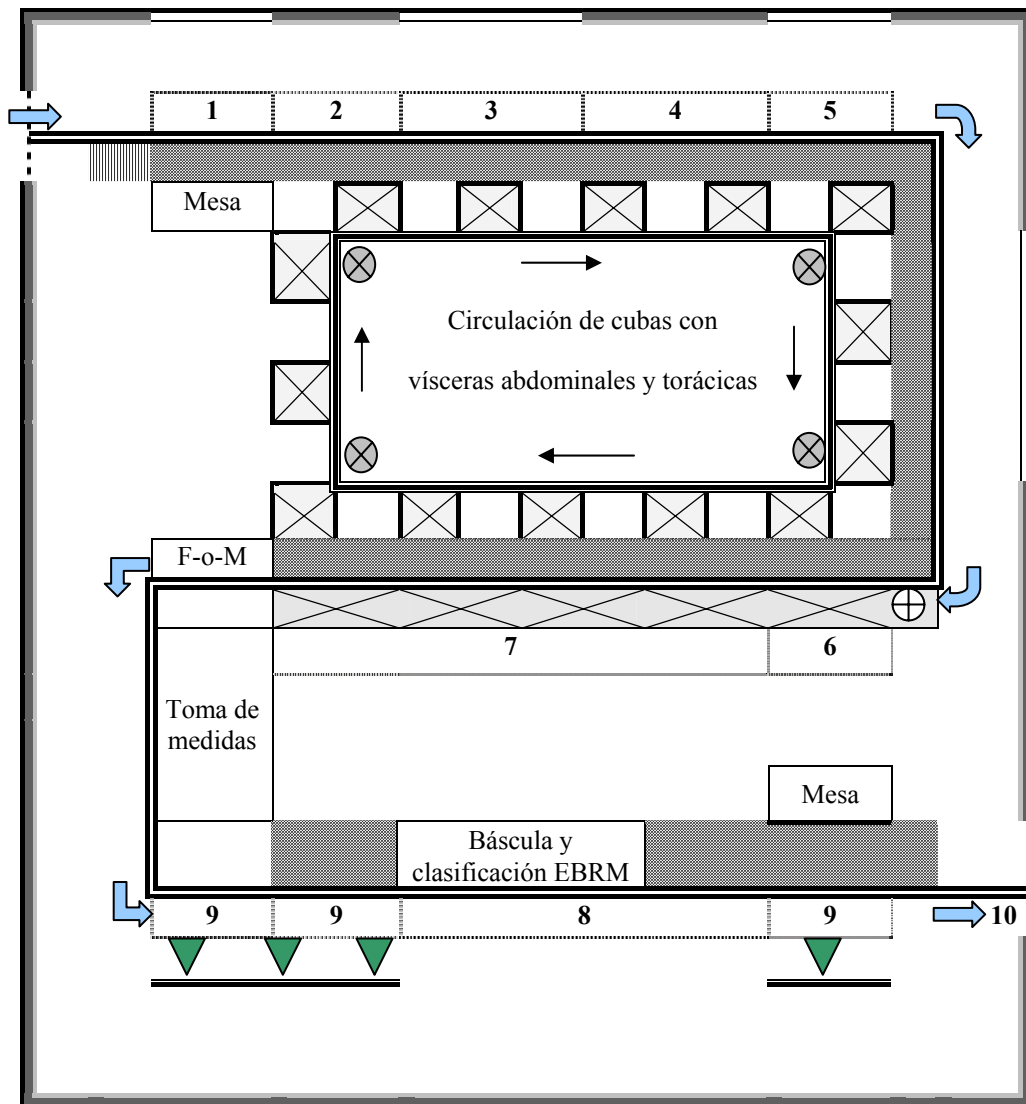
Una vez en la zona de eviscerado (Figura 43), se somete a los animales a un corte inciso y profundo alrededor de la abertura natural del ano, para facilitar el posterior vaciado de la cavidad abdominal. En el caso de los machos enteros, se realiza otro corte a este nivel para retirar los testículos. Después, se inicia el eviscerado de la canal mediante una incisión longitudinal a lo largo de la línea media abdominal, desde la incisión perianal hasta el esternón.

A continuación, se agarra el paquete intestinal con mucho cuidado y se tira de él hasta que éste se libere de su cavidad natural. En el caso de las hembras, junto al contenido abdominal se extraen los órganos genitales. El conjunto de vísceras abdominales es depositado en cubas metálicas y conducidas hacia una sala anexa, donde son adecuadamente procesadas.

El eviscerado de la cavidad torácica se inicia tras el corte de las costillas a nivel de la unión cartilaginosa que las une con el esternón. El conjunto de vísceras torácicas es liberado conjuntamente con la tráquea y la lengua, de modo que, se va recortando la musculatura que las une internamente hasta facilitar su extracción. Estas vísceras se colocan en cubas metálicas que se desplazan a la vez que la canal sobre un circuito cerrado, facilitando de este modo su limpieza y clasificación en carros, según las necesidades de venta.

Figura 43.**Diseño de la sala de faenado.**

- Flujo de los animales. **1;** Incisión perianal **2;** Inicio evisceración **3;** Eviscerado abdominal **4;** Eviscerado torácico **5;** Extracción riñones **6;** Extracción diafragma **7;** Esquinado **8;** Acabado **9;** Duchas **10;** Oreo rápido.



A continuación se extraen los riñones, tras liberarlos de la grasa perirrenal que los cubre, así como la grasa de cobertura del miembro pélvico y la zona del pecho. Se realiza un corte transversal sobre la musculatura cervical, descolgando la cabeza del animal hacia el lado izquierdo, y se extrae el diafragma tras seccionar las fascias que lo sujetan internamente.

La siguiente fase, conocida como esquinado, conlleva a la obtención de dos medias canales, izquierda con cabeza y derecha, desprovistas completamente de vísceras y perfectamente preparadas para poder ser destinadas a la venta directa, o para su despiece. El esquinado se inicia mediante un corte poco profundo con sierra eléctrica, sobre la cara interna de la columna vertebral del animal, produciendo una vía por donde aplicar un corte más profundo y completo usando un hacha manual.

Obtenidas las dos medias canales, se procede a la medida del porcentaje magro de la canal mediante la sonda Fat-o-Meter (FoM), de la firma Danesa SFK Ltd, necesaria para poder establecer la clasificación comercial de la canal (S-EUROP), y el peso, mediante una báscula Mettler Toledo incorporada a la cadena de conducción, modelo A3140, serie 98129, la cual presenta un rango de variación de 0,5 kg. Ambas medidas, junto al sexo y el estado general de carne y grasa, permiten establecer la conformación subjetiva de la canal (E: excelente, B: buena, R: regular, M: mala).

Por último, mediante el acabado de la canal, las extremidades anteriores son seccionadas a nivel de su articulación metacarpiana, recortando el conjunto de piel y grasa que recubre la zona de ambos huesos escapulares y región dorsal que lo rodea, dejando al descubierto toda el área de la cabeza del lomo. La duración de todos los procesos descritos en la sala de sacrificio, ronda los 20-25 min, mientras que la fase de faenado se realiza normalmente en 10-15 min.

4.5. Refrigeración

El sistema de refrigeración industrial al que son sometidas las canales (Figura 44), consiste en un primer oreo rápido (cámara 1) y en dos fases posteriores de mantenimiento (cámaras 2 y 3). La primera fase se realiza en 90 min, trabajando por término medio a 0°C, un 87% de HR y 3 m s⁻¹ de velocidad del aire. El sistema de circulación de las canales en el interior de esta cámara es continuo y modificable en su velocidad, describiendo un circuito en zig-zag donde las canales transitan por 15 carriles de conducción y por 14 giros de 180° antes de enfilarse la salida.

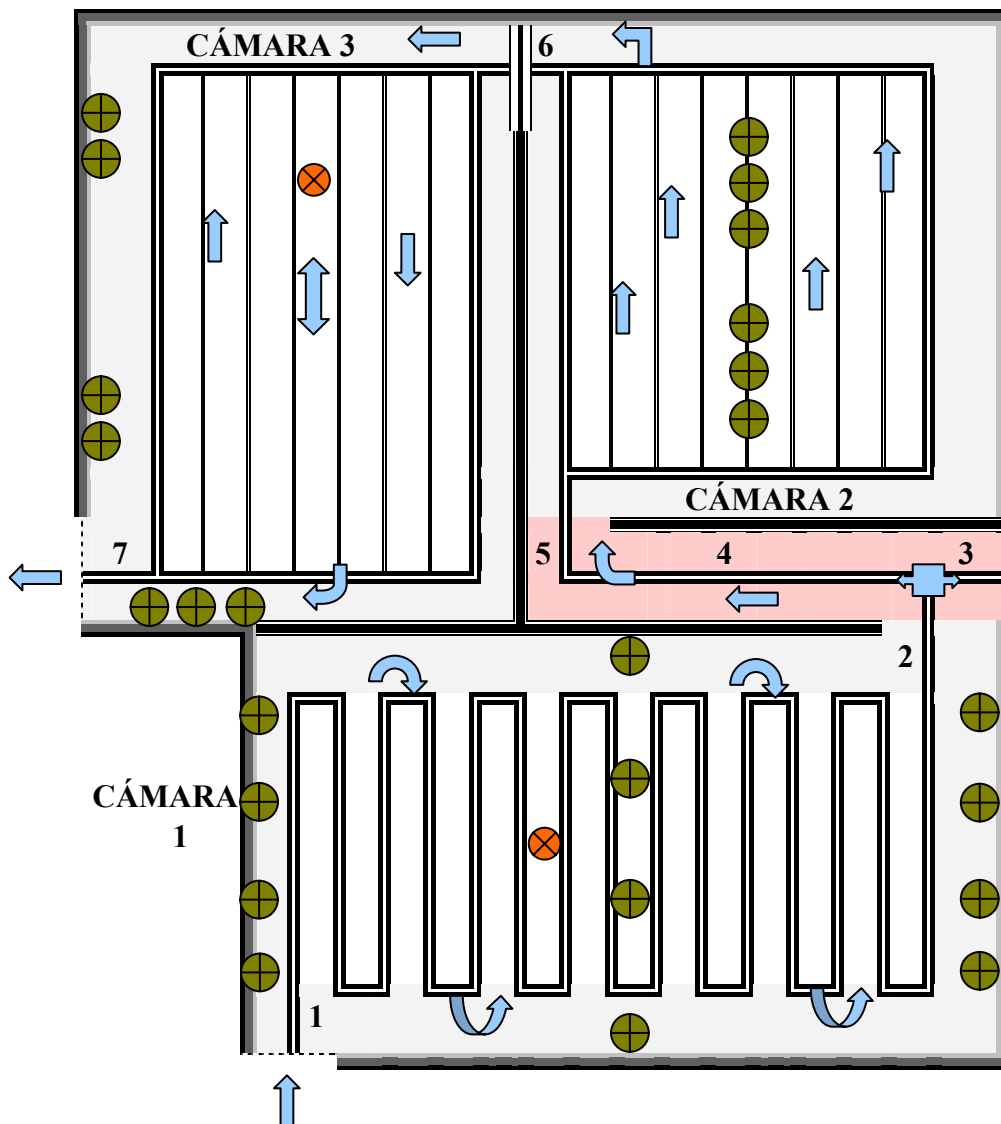
El diseño de la cámara de oreo rápido presenta una separación de 0,5 m entre carriles, entre carriles laterales con la pared y entre la canal y el suelo. Por este motivo, cuando existe una estiba excesiva, este espacio insuficiente dificulta la correcta refrigeración de las canales. En este sentido, la ocupación máxima es de unas 500 canales, a una media de 33 canales por carril. Además, presenta 12 refrigeradores distribuidos en las paredes laterales y en la línea central del techo, con los difusores de aire orientados de tal modo que el chorro de aire frío revoca hacia las paredes y el suelo, formando un circuito de aire en remolino a ambos lados de la línea central de la cámara.

En estas condiciones, la canal sale del oreo rápido a una temperatura interna de 33-35°C, si bien, en condiciones concretas de producción puede verse alterada cuando se modifica la velocidad de conducción de la cadena. Además, durante este recorrido y en función de la posición en que se encuentre la canal con respecto a los difusores del aire, ésta puede salir con signos evidentes de resecado superficial a nivel de las superficies musculares más expuestas. En este sentido hay que resaltar que la velocidad del aire en el radio de acción de los difusores puede llegar a superar los 5 m s⁻¹, siendo lo normal entre los 2 y 3 m s⁻¹.

Figura 44.

Diseño de las cámaras frigoríficas.

- ⊗ Deficiencias de diseño más importantes. → Flujo de los animales.
- ⊕ Refrigeradores. 1; Entrada oreo rápido 2; Salida oreo rápido 3; Salida venta canales en fresco 4; Pasillo toma de medidas 2 h 5; Entrada cámara 2 6; Entrada cámara 3 7; Salida hacia sala de despiece.



Tras el oreo rápido, las canales acceden a una primera cámara de mantenimiento refrigerado, donde permanecen por espacio de 4 h a 3-4°C, con un 89% de HR y una velocidad del aire de 1,5 m s⁻¹, con 12 carriles operativos para la carga, un carril para la evacuación de canales hacia la siguiente cámara, un carril de alimentación y otro de vaciado o descarga. Consta además, de 6 refrigeradores localizados a lo largo de la línea central de la cámara y orientados de tal modo que los ventiladores expulsan el aire perpendicularmente hacia el suelo.

Por su parte, existe una separación entre carriles, entre carriles laterales y la pared, y entre la canal y el suelo, de aproximadamente 1 m en cada caso, que permite que la estiba de esta cámara sea apropiada para favorecer el paso del aire frío, y de este modo, la correcta refrigeración de la canal. La ocupación máxima de ésta cámara ronda las 1200 canales, a una media de 100 canales por carril.

El proceso de llenado de los carriles de carga se hace de forma automática sin que pueda ser manipulado externamente por ningún operario. En cambio, el vaciado de las canales de una fila hacia la cámara siguiente se controla tras ser accionado un dispositivo que pone en movimiento la fila entera.

Esta operación se presta a menudo a errores humanos, o incluso a evacuaciones intencionadas de ciertos carriles para aliviar la cámara. En circunstancias normales, el proceso de carga y vaciado de un carril transcurren en un tiempo aproximado de 20 min cada uno. La caída de temperatura interna de la canal durante su estancia en esta cámara es bastante grande, y es del orden de 15-20°C, de tal modo que de los 33-35°C que tiene la canal a la entrada, se pasa a unos 15-20°C.

Finalmente, las canales acceden a una segunda cámara de mantenimiento refrigerado, donde se trabaja a 3-3,5°C, un 89-90% de HR y una velocidad del aire de 1 m s⁻¹. Esta cámara presenta 15 carriles de carga, con una ocupación por carril de unas 125 canales, un carril de alimentación y otro de vaciado o descarga, el cual comunica con la sala de despiece. La separación entre carriles, así como su altura, de aproximadamente 0,5 m en ambos casos, puede dar lugar a una insuficiente refrigeración de las canales, ya que el espacio entre ellas y el que dejan con el suelo no permiten la buena circulación del flujo de aire frío.

Esta cámara posee un total de 5 refrigeradores localizados en las dos paredes más próximas a la zona de acceso a la sala de despiece. La carga y descarga de dicha cámara se realiza de forma manual por parte de un operario, de modo que según el orden de entrada de las canales, el operario estima cuales están más frías para ir sacándolas hacia el despiece, siguiendo un orden poco riguroso que puede no garantizar un tratamiento térmico homogéneo de las canales tras su paso por ésta cámara frigorífica.

La temperatura interna de la canal cuando sale de esta cámara frigorífica hacia el despiece, suele presentar una oscilación muy amplia como consecuencia de una casuística muy variada, siendo normal encontrar valores por debajo de 7°C y por encima de 15°C. Entre las causas más frecuentes, destacan la duración de esta fase de refrigeración, las condiciones de estiba en la cámara, y el ritmo (alto/bajo) y tipo (reproductoras/primales) de matanza y despiece predominantes en ese momento.

V. ENSAYOS

5.1. Caracterización de la calidad de la canal y de la carne

Introducción y objetivos

Una vez descrito el proceso de sacrificio y obtención de canales, se procedió al estudio de la calidad tecnológica de la canal y de la carne mediante medidas en línea, con el objeto de estimar la influencia de variables como el peso, sexo, clase y conformación sobre la calidad media de las canales producidas en el matadero, a la vez que conocer la incidencia de carnes normales y de baja calidad. El objetivo planteado a partir de esta información consistió en la realización de ensayos de calidad en las diferentes fases de estudio, planteando la aplicación de medidas correctoras enfocadas a evitar posibles mermas o pérdidas de calidad.

Diseño experimental

Se realizó un amplio muestreo en línea de sacrificio basado en los principales parámetros morfológicos (peso y engrasamiento) y tecnológicos (pH y CE) de la canal.

Animales

Se estudiaron un total de 2047 cerdos de cebo procedentes de 36 granjas ubicadas en la Región de Murcia y provincias limítrofes. Se realizó un muestreo aleatorio sobre un total de 45 lotes durante el periodo comprendido entre los meses de marzo y diciembre. Tras el transporte, los animales permanecieron en reposo por término medio durante 4 ± 2 h y luego fueron sacrificados según la Reglamentación Técnico Sanitaria vigente (RD 147/29 de enero 1993 y modificaciones del RD 315/1996).

Una vez realizado el faenado de los animales, las canales fueron identificadas con una marca indeleble, y sometidas a un oreo rápido durante 90 min a una temperatura $0,4\pm 1,8^{\circ}\text{C}$ y a un mantenimiento refrigerado posterior durante 8-10 h a $3,3\pm 1,7^{\circ}\text{C}$.

Medidas

El pH se midió con un pHmetro portátil Crison 507 (Crison Instruments Incorporation, Barcelona, España) provisto de un electrodo combinado de penetración Ingold Xerolyt Cat. 10 406 3120 (Ingold Electrodes Incorporation, Urdof, Suiza), el cual presenta un rango de trabajo de $-2,00/+16,00\pm 0,01$ para el pH y $-50/+199,9\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ para la temperatura. El pHmetro fue calibrado cada 15 min con las soluciones tamponadas de $\text{pH}=7,02$ y $\text{pH}=4,00$, y se graduó la temperatura del pHmetro en función a la temperatura de la canal.

Las medidas fueron realizadas en el músculo *Semimembranosus* (SM) de la media canal izquierda, a 3 cm de profundidad. El tiempo medio de estabilización de la medida fue de unos 10 s. Dichas medidas se realizaron en la zona de acceso a la cámara de refrigeración (45 min), a la salida del oreo rápido (2 h), y tras mantenimiento refrigerado de las canales, a las 8 h y a las 24 h. Para la clasificación de la calidad de la carne en función del pH, se consideraron carnes moderadamente DFD aquellas con un pH_{24} entre 6,15 y 6,20, y carnes DFD a todas aquellas con registros de $\text{pH}_8\geq 6,20$ (Novelli *et al.*, 1993; Chizzolini *et al.*, 1993; Garrido *et al.*, 1994b; Bañón *et al.*, 1997a).

La conductividad eléctrica (CE) fue medida con el conductímetro portátil Pork Quality Meter (PQM, Intek Aichach, Munich, Alemania) provisto de dos electrodos de acero de 6 mm de diámetro, con un rango de trabajo de 0 a 20 mS/cm y una precisión del 0,5% del valor final de la medida.

De igual modo, la medida de CE se realizó en el músculo SM y en los mismos tiempos que el pH, a excepción de la medida a 8 h, la cual no se realizó. Para la clasificación de la calidad de la carne en función de la CE, se consideraron carnes moderadamente PSE aquellas con una CE_2 entre 6 y 8 mS/cm, y carnes PSE aquellas con una $CE_2 > 8$ mS/cm (Álvarez y Torre 1996; Bañón *et al.*, 1996). Por su parte, se consideraron normales aquellas carnes que a las 2 h presentaron una $CE < 6$ mS/cm (Oliver *et al.*, 1989), y un $pH < 6,0$ a partir de las 8 h *post mortem*.

Así mismo, se midió el espesor del panículo graso con una regla milimetrada a nivel del músculo glúteo medio y del área dorsal a nivel de la primera costilla. La temperatura interna de la canal (15 cm de profundidad), fue medida en el músculo SM a los 45 min, 2 h y a las 24 h *post mortem*.

El sexo de la canal se estableció mediante la observación del recorte de la piel inguinal y la presencia o no del conducto deferente. Todos los machos estudiados eran machos enteros. El número total de machos y hembras fue de 938 y 1108, respectivamente. El registro general de datos se completó con el peso y el porcentaje magro de la canal, estimado mediante la sonda FoM, lo que permitió conocer a su vez, la clase y la conformación de dichas canales.

5.1.1. Calidad de la canal y de la carne

La Tabla 6 describe el número de muestras (N), la media (M), la desviación estándar (D) y los valores máximos y mínimos de los parámetros de calidad de la canal estudiados.

El peso medio de las canales fue de $77,22 \pm 10,38$ kg, con un porcentaje de magro de $55,74 \pm 3,47\%$, equivalente a una categoría E-U, según el sistema de clasificación S-EUROP (1=S, 2=E, 3=U, 4=R, 5=O y 6=P) y una conformación entre B y R, según el baremo subjetivo del matadero para la clasificación de la canal (1=E excelente, 2=B buena, 3=R regular y 4=M mala).

En comparación con otros estudios realizados en mataderos Españoles, el peso medio de la canal fue mayor al descrito por Oliver *et al.* (1991) y García (1992), los cuales fueron de 74,4 y 74,5 kg, respectivamente, y menores a los 82,6 kg descritos por Gispert *et al.* (2000).

Tabla 6.
Parámetros de calidad de la canal y la carne.

	Estadística descriptiva			
	N	M±D	Mínimo	Máximo
Peso canal (kg)	2047	77,22±10,38	55,80	119,80
Magro (%)	2047	55,74±3,47	38,60	64,60
Grasa dorsal (cm)	2047	3,19±0,73	1,60	5,60
Grasa glútea (cm)	2047	1,59±0,52	0,50	2,90
Clase comercial	2047	2,32±0,74	1	6
Conformación	2047	2,37±0,62	1	4
pH ₄₅	1092	6,05±0,25	5,30	6,72
CE ₄₅	1092	4,16±0,87	2,90	10,50
pH ₂	1092	5,82±0,26	5,30	6,66
CE ₂	1092	5,47±2,65	2,90	14,80
pH ₈	1092	5,70±0,27	5,25	6,64
CE ₂₄	905	7,48±2,38	3,20	13,50
pH ₂₄	905	5,70±0,25	5,20	6,79

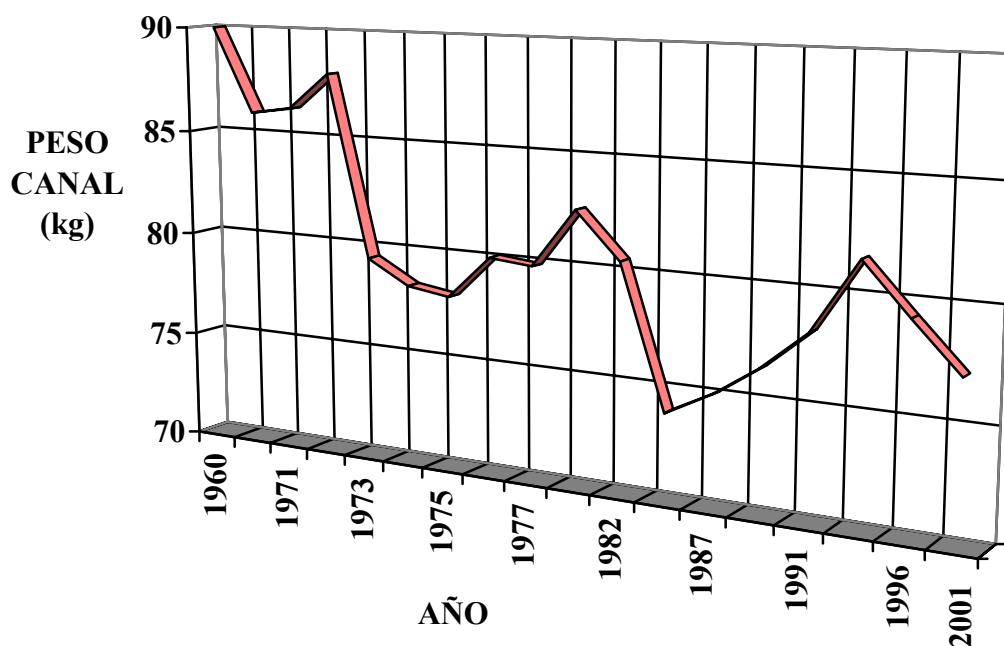
M±D: Media ± desviación típica

La Figura 45 muestra como el peso medio de las canales de cerdo en la Región de Murcia ha evolucionado con el paso de los años hacia la obtención de canales menos pesadas, y como los resultados obtenidos (77 kg) coinciden con los datos de los últimos años.

El porcentaje de magro observado es superior al 48-49% encontrado por García (1992) e inferior al 63% obtenido por Wood (1991) en el Reino Unido, presentando mayor similitud con el 52,6% encontrado por Garrido y Honikel (1996), el 54,1% obtenido por Hulsegge y Merkus (1997) con la sonda Henessy Grading Probe, y con el 56-58% obtenido por Gispert *et al.* (2000).

Figura 45.

Evolución del peso medio de la canal porcina en la Región de Murcia (Zapata *et al.*, 1985; Pedauy , 1993; Laencina *et al.*, 1996; Granados, 2001).



El espesor del panículo adiposo dorsal y glúteo de la canal fueron de $3,19 \pm 0,73$ y $1,59 \pm 0,52$ cm, respectivamente. En comparación con otros estudios, el grosor de panículo adiposo en la región glútea es inferior a los 1,70-1,85 cm descritos por García (1992), o los 1,74 cm encontrados por Pedauyé *et al.* (1994). En cambio, los valores encontrados son parecidos a los obtenidos por Hulsegge y Merkus (1997) (1,61 cm) y Gispert *et al.* (2000) (entre 1,44 y 1,59 cm).

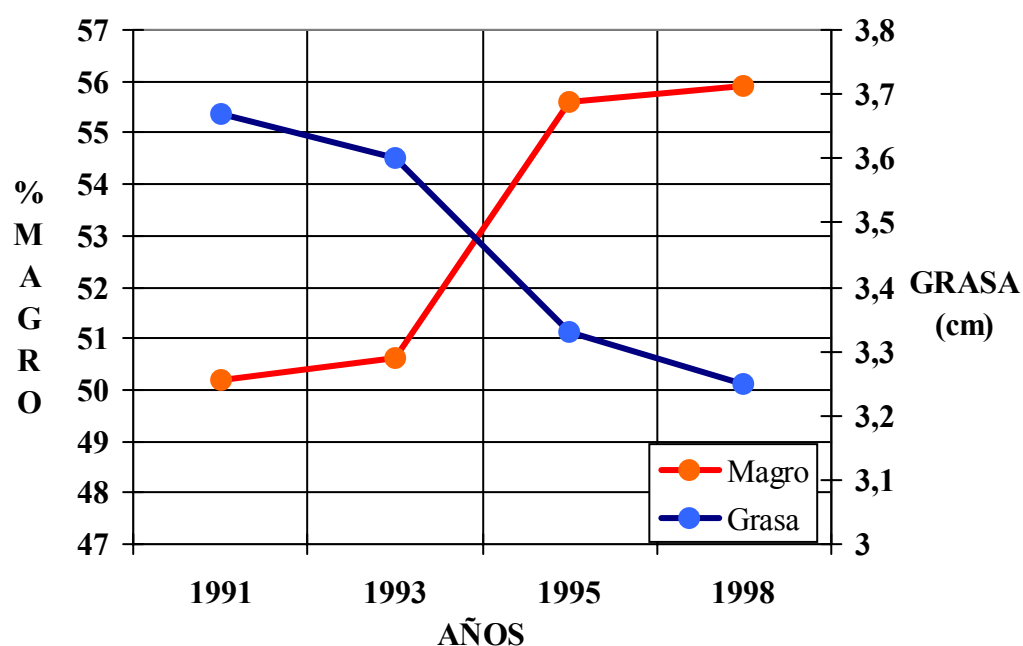
Del mismo modo, los valores medios de panículo adiposo dorsal se asemejan a los 3,02 cm encontrados por Granados (2001) y a los 3,2 cm descritos por Laencina *et al.* (1996), si bien, son menores a los obtenidos por María Dolores (1993) y Pedauyé *et al.* (1994), con valores de 3,65 y 3,49 cm, respectivamente.

La Figura 46 muestra la evolución del porcentaje de magro y el grosor del panículo adiposo dorsal según los datos obtenidos en diversos muestreos realizados en la Región de Murcia sobre canales porcinas durante los años 1991 y 1998. Como muestra la figura, se aprecia una tendencia moderada a la obtención de canales cada vez más magras y menos engrasadas, con un incremento medio del 5% en los valores de magro y una disminución de 3 mm en los valores medios de tocino dorsal, para canales de unos 80 kg de peso (Bañón *et al.*, 2000). Estos resultados, denotan una importante mejora en el rendimiento de las canales producidas en la Región durante los últimos años.

Para poder establecer la calidad de la carne, dada la dificultad que suponía tomar medidas en canales en movimiento, se optó por recoger dichas medidas dentro de las cámaras de refrigeración, a las 2 h *post mortem*. Con ello, se pretendía obtener unos resultados de carácter inmediato e igual de fiables que los obtenidos a 45 min.

En este sentido, al observar en la Tabla 6 la evolución creciente de la CE, se consideró que la medida de la CE a partir de las dos horas era la más adecuada para estimar la condición PSE y mPSE de la carne, pues como apuntan Álvarez y Torre (1996), es a partir de ese momento cuando la capacidad de retención de agua comienza a estabilizarse y los valores son más representativos, si bien, para detectar canales con cierto retraso en la aparición de estas características, los autores recomiendan utilizar la CE₂₄.

Figura 46.
Evolución del porcentaje magro y el espesor de tocino dorsal de las canales producidas en la Región de Murcia (Bañón *et al.*, 2000).



Así pues, la CE₂ es capaz de dar una información, cuanto menos, igual de buena que la CE₂₄, y en cualquier caso, mejor que la medida del pH₄₅, ya que como apunta Bañón *et al.* (1997b), las diferencias de CE entre carnes PSE y no PSE son más acusadas en canales calientes que en frías, debido al efecto de la temperatura sobre la CE. Además, la sonda Pork Quality Meter es un instrumento robusto diseñado para trabajar en línea, de rápida respuesta, fácil de manejar y transportar, de gran autonomía y que apenas tiene que ser calibrado.

Para el estudio de la condición DFD y mDFD se midió el valor de pH tras varias horas de refrigeración de la canal, a fin de poder determinar en que momento se empezaba a estabilizar dicha medida y poder así optimizar la hora de medida más apropiada. De este modo, tras realizar las medidas de pH a los 45 min *post mortem*, a las 2 h (salida de oreo rápido), y tras inmovilización de todas las canales en un carril de la cámara, medidas a 8 y 24 h, se pudo comprobar (Tabla 6), que el pH presentó una evolución decreciente en el tiempo, estabilizándose a partir de las 8 h *post mortem*.

Por otro lado se pudo observar que, de todas las canales con un pH₂>6,2 sólo tres evolucionaron hacia un pH₂₄ también superior a 6,2, por lo que se descartó el último valor de pH₂ para estimar carnes DFD. A nivel industrial interesa detectar la calidad de la carne cuanto antes con el fin de poder adecuar su destino, pero por otro lado, no interesa que sea demasiado pronto, pues aún no se han desarrollado las características de la carne relacionadas con el metabolismo *post mortem*. El pH medido a este tiempo aún no discrimina con precisión carnes DFD y no DFD. Además, se comprobó que las canales con pH₂₄ por encima de 6,2, presentaron un valor casi constante a partir de las 2-3 h *post mortem*, y una gran estabilización a las 8 h, por lo que se optó por usar la medida del pH₈, con un pequeño margen de error, ya que de todas estas canales, las que no evolucionaron por encima de un pH 6,2 (DFD), se quedaron muy cerca y pudieron ser clasificadas como mDFD.

De esta manera, de acuerdo con los valores de pH y CE, hubo una mayor incidencia de carnes exudativas (8,3% PSE y 7,7% mPSE) que de carnes fatigadas (4,4% DFD y 8,1% mDFD) en el músculo SM, con una proporción de carne normal (71,6%) por debajo de lo esperado. En este sentido, se pone de manifiesto que el defecto más común y de mayor importancia a nivel industrial es el de las carnes exudativas (Diestre, 1991a; Bañón *et al.*, 1997a).

5.1.2. Incidencia de carnes PSE, Normal y DFD

La Tabla 7 muestra los valores medios y desviaciones típicas de los diferentes parámetros de calidad para canales PSE, DFD y normales. Se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) para los valores medios de pH_{45} y pH_2 . El valor medio de pH_{45} (5,79) obtenido para carnes PSE fue superior al obtenido por López-Bote *et al.* (1989) (5,60) y Oliver *et al.* (1991) (5,50), e inferior al valor obtenido por Brown (1992) (5,92). Por su parte, el valor medio de pH_{45} para carnes DFD (6,45) fue similar al obtenido por Oliver *et al.* (1991) (6,45) y Brown (1992) (6,41). López-Bote *et al.* (1989) y Garrido *et al.* (1994a), obtuvieron valores algo menores, 6,33 y 6,31, respectivamente.

Por el contrario Bañón (1996), describe unos registros de pH_{45} superiores a 6,6. Según Oliver *et al.* (1991), estas diferencias en los registros de pH_{45} pueden tener su explicación en el tipo de población animal estudiada en cada caso por cada autor, así como en las condiciones específicas de cada matadero.

La medida de pH_2 siguió una pauta parecida. Como en el caso anterior, el valor de pH_2 permite discriminar las tres calidades de carne. Esto coincide parcialmente con Bañón *et al.* (1997b), para quienes la medida de pH_2 en el músculo SM sólo sería capaz de diferenciar carnes PSE y no PSE.

Tabla 7.
Estudio comparado de la calidad de la canal y la carne.

	Calidad			P
	PSE (n = 170)	Normal (n = 1466)	DFD (n = 90)	
pH				
45 min	5,79±0,25 ^c	6,08±0,17 ^b	6,45±0,15 ^a	0,0000
2 h	5,59±0,16 ^c	5,74±0,21 ^b	6,41±0,10 ^a	0,0000
8 h	5,59±0,16 ^c	5,64±0,16 ^b	6,31±0,09 ^a	0,0000
24 h	5,65±0,25 ^b	5,64±0,15 ^b	6,34±0,11 ^a	0,0000
CE				
CE₄₅	5,58±1,94 ^a	4,03±0,42 ^b	4,00±0,53 ^b	0,0000
CE₂	10,87±2,63 ^a	4,05±0,69 ^c	4,53±1,04 ^b	0,0000
CE₂₄	10,99±1,55 ^a	6,41±1,39 ^b	5,55±0,50 ^b	0,0000
T^a canal				
45 min	41,06±0,51 ^a	40,46±0,85 ^b	39,95±0,60 ^b	0,0084
2 h	32,60±2,46 ^{ab}	33,99±2,15 ^a	31,97±2,51 ^b	0,0206
24 h	5,34±1,38 ^a	5,87±1,54 ^a	4,86±0,47 ^a	0,1616
Canal				
Peso	76,37±11,51 ^a	77,37±10,31 ^a	76,23±9,27 ^a	0,3276
Magro	56,31±3,24 ^a	55,69±3,55 ^{ab}	55,20±3,24 ^b	0,0296
Grasa Dorsal	3,20±0,87 ^a	3,23±0,76 ^a	3,08±0,50 ^a	0,8856
Grasa Glútea	1,57±0,54 ^a	1,59±0,55 ^a	1,70±0,40 ^a	0,8829

Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P<0,05)

P: Probabilidad estadística

Estos resultados indican que las carnes PSE ya manifiestan dicha condición a los 45 min tras el sacrificio, aunque de forma poco intensa (pH₄₅=5,79).

El pH es un buen predictor de carnes exudativas tras el sacrificio, aunque en la práctica, medir el pH en la línea de sacrificio entraña grandes inconvenientes, ya que, si bien existen electrodos de respuesta rápida, su capacidad de trabajo es limitada cuando se pretende medir un gran número de canales en un corto periodo de tiempo. Por contra, la medida de conductividad eléctrica no presenta este problema, ya que, gracias a su rápida estabilización, permite muestrear un alto número de canales sin interferir la actividad normal del matadero.

La medida de CE aporta una buena información sobre la capacidad de retención de agua de la carne (Álvarez y Torre, 1996). Tal es así, que incluso permite vigilar si ha transcurrido un tiempo excesivo desde que se obtuvieron las canales en el matadero o conocer si éstas no han sido enfriadas de forma adecuada, ya que en ambos casos su valor aumenta.

Las carnes DFD también manifiestan tal condición desde los 45 min *post mortem* (pH=6,45) hasta las 24 h (pH=6,34). A pesar de que los resultados obtenidos indican que se podría diferenciar entre carnes DFD y no DFD a partir del pH₄₅, es conveniente resaltar que la medida de pH₄₅ sobre canales todavía calientes (Tabla 7) que se encuentran en una fase acelerada del metabolismo *post mortem*, es normal que presente un valor alto en las categorías DFD y Normal, y luego descienda en el transcurso de la refrigeración hasta valores normales, por lo que resultaría poco apropiada la medida pH₄₅ para clasificar carnes DFD, a pesar de encontrar diferencias significativas entre grupos, pues su grado de estabilización respecto a las medidas sobre canales refrigeradas un mínimo de 8 h, es bastante menor.

Al igual que para las medidas tempranas de pH, se observaron diferencias significativas ($P < 0,001$) en los valores de pH_8 y pH_{24} para las tres categorías, coincidiendo con Oliver *et al.* (1991), García (1992) y Bañón *et al.* (1997b). El pH se estabilizó a las 8 h, de modo que a partir de este momento las diferencias entre los valores de pH entre carnes DFD y no DFD son más apreciables.

En este sentido, la estabilización del pH hace posible que tanto el pH a 8 h (Severini *et al.*, 1994), como el pH a 24 h (Oliver *et al.*, 1989; Lopez-Bote *et al.*, 1989; Warriss *et al.*, 1989), puedan ser utilizados como buenos predictores de carnes DFD. Además, la medida del pH_8 resulta más práctica que la anterior, al presentar la ventaja de poder ser registrada durante el oreo de las canales sin la necesidad de tener que retenerlas durante un día en las cámaras frigoríficas.

Respecto a la CE, se pudo comprobar como los valores medios fueron significativamente mayores ($P < 0,05$) desde los 45 min hasta las 24 h, en carnes PSE y no PSE. Por su parte, el registro de CE a 2 h se mostró como la medida con mayor capacidad de discriminación, al presentar diferencias entre las tres categorías de carne estudiadas ($P < 0,001$), por lo que, coincidiendo con Álvarez y Torre (1996) y Bañón *et al.* (1997a), podría ser utilizada a nivel industrial como una medida fiable y eficaz en la detección temprana de carnes PSE.

La temperatura inicial de la canal (45 min) presentó valores medios superiores ($P < 0,05$) en la categoría PSE frente a las categorías DFD y normal, coincidiendo con los datos obtenidos por Sjöblom y Lundström (1989). Esto podría tener su explicación en las diferencias en el metabolismo *post mortem* tras el sacrificio, en concreto, en la intensidad de la glucólisis muscular, que conlleva reacciones exotérmicas que generan ligeros incrementos de temperatura.

Respecto a las variables relacionadas con la calidad de la canal, no se apreciaron diferencias significativas ($P>0,05$) en el grosor del panículo adiposo y en el peso, para las diferentes categorías de calidad de la carne. En cambio, según el FoM se apreció una disminución del magro de la canal, pues los valores medios fueron significativamente menores ($P<0,05$) en canales PSE que en DFD. Así pues, el incremento del magro detectado mediante reflectancia en las PSE no se correspondió con las medidas realizadas directamente sobre el tocino.

La Tabla 8 muestra los coeficientes de correlación entre las medidas de calidad de carne (pH y CE) a 45 min, 2, 8 y 24 h. Con respecto al pH, se apreció una fuerte correlación entre el pH a 8 y 24 h ($r:0,93^a$) y en menor medida con el resto de tiempos (45 min y 2 h). Así pues, la medida de pH_8 se comportaría como un indicador fiable para estimar carnes DFD sin necesidad de tener que recurrir a la medida a 24 h (Bañón *et al.*, 1997a).

Por otro lado, coincidiendo con los datos obtenidos por Garrido y Honikel (1996), la elevada correlación entre la CE a 2 y 24 h ($r:0,80^a$), indicaría que ambas medidas de CE podrían ser utilizadas, indistintamente para la determinación de carnes exudativas.

La medida de CE_2 , a pesar de poder dejar escapar alguna canal que aún no halla desarrollado su potencial metabólico (Bañón *et al.*, 1997a), resulta mas ventajosa que la medida a 24 h, puesto que las diferencias de CE son más acusadas en carnes calientes, y ello permite clasificar carnes PSE de forma rápida. De este modo se podría adecuar el procesado de las carnes PSE, bien intensificando su tratamiento frigorífico, o bien, mediante la aplicación de un proceso tecnológico adaptado a las características propias de este tipo de carnes, con el fin de reducir las mermas de calidad derivadas del uso de carnes exudativas a nivel industrial.

Tabla 8.
Correlación de Pearson y nivel de significación entre las distintas variables estudiadas.

	Variables estudiadas										
	Peso	Magro	Grasa dorsal	Grasa glútea	pH ₄₅	CE ₄₅	pH ₂	CE ₂	pH ₈	pH ₂₄	CE ₂₄
Peso	/										
Magro	-0,44 ^a	/									
Grasa dorsal	0,48 ^a	-0,61 ^a	/								
Grasa glútea	0,38 ^a	-0,67 ^a	0,72 ^a	/							
pH₄₅	0,17 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}	/						
CE₄₅	-0,14 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,39 ^a	/					
pH₂	0,10 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,64 ^a	-0,13 ^{ns}	/				
CE₂	-0,13 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,62 ^a	0,66 ^a	-0,38 ^a	/			
pH₈	-0,05 ^{ns}	-0,12 ^b	*	*	0,50 ^a	*	0,69 ^a	-0,10 ^b	/		
pH₂₄	0,26 ^c	-0,22 ^c	0,16 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,24 ^b	0,07 ^{ns}	0,72 ^a	-0,14 ^{ns}	0,86 ^a	/	
CE₂₄	-0,20 ^c	-0,02 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,60 ^a	0,32 ^a	-0,50 ^a	0,80 ^a	*	-0,16 ^{ns}	/

Nivel de significación; a: p<0,001 b: p<0,01 c: p<0,05 ns: p>0,05 (no significativo) *: no se dispone de datos

La medida de CE_{24} , puesto que se realiza sobre canales a 4-6°C cuando ya han actuado buena parte de los factores que determinan la calidad final de la carne, presenta la ventaja de ser bastante fiable, sin embargo, resulta poco apropiada a nivel industrial, puesto que es muy tardía y además no permite la aplicación de medidas correctoras a tiempo sobre las carnes que han desarrollado anteriormente características exudativas.

Como se ha visto, el mejor punto para controlar la calidad de la materia prima será a la salida del oreo de las canales (2 h), en el caso de la CE, y previo a la salida hacia sala de despiece (8 h), en el caso del pH, de tal forma que se pueda adecuar mejor el destino industrial de piezas de baja calidad.

En este sentido, resulta conveniente establecer un control de proveedores que permita seleccionar eficazmente la materia prima y mejorar los productos derivados, pese a las enormes dificultades que supone acometer dicho control en mataderos con un gran volumen de matanza.

De esta manera, a modo de recomendación, proponemos entre otros; 1- Identificar de forma indeleble las canales y piezas grandes (clave de proveedor), para establecer un sistema de trazabilidad de los productos. 2- Detectar carnes exudativas mediante la medida CE_2 , y carnes fatigadas mediante la medida de pH_8 , adecuando el procesado y el destino comercial de las canales. 3- Confeccionar un historial de proveedores que determine la política de compras a seguir por las empresas.

5.1.3 Influencia del sexo

La Tabla 9 muestra los valores medios (M) y la desviación estándar (D) para las variables de calidad en canales de machos y hembras.

Tabla 9.
Calidad de la canal y la carne según el sexo.

	MACHOS	HEMBRAS	P
	(<i>n</i> =938)	(<i>n</i> =1108)	
	M±D	M±D	
Peso canal (kg)	78,07±10,31 ^a	76,50±10,39 ^b	0,0007
Magro (%)	55,58±3,25 ^b	55,89±3,65 ^a	0,0464
Grasa dorsal (cm)	3,15±0,52 ^a	3,24±0,91 ^a	0,5812
Grasa glútea (cm)	1,45±0,39 ^b	1,74±0,60 ^a	0,0053
T ^a Canal 45 min	40,53±0,87 ^a	40,67±0,78 ^a	0,4039
T ^a Canal 2 h	33,47±2,10 ^a	33,56±2,62 ^a	0,8487
T ^a Canal 24 h	5,50±1,46 ^a	5,77±1,59 ^a	0,3804
pH ₄₅	6,04±0,23 ^a	6,01±0,25 ^a	0,5461
CE ₄₅	4,22±1,01 ^a	4,31±1,01 ^a	0,6622
pH ₂	5,77±0,28 ^a	5,72±0,25 ^a	0,4296
CE ₂	4,66±1,85 ^b	5,01±2,43 ^a	0,0003
pH ₈	5,74±0,24 ^a	5,67±0,21 ^b	0,0000
CE ₂₄	6,92±2,01 ^b	8,07±2,60 ^a	0,0146
pH ₂₄	5,77±0,28 ^a	5,62±0,20 ^b	0,0000

Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P<0,05)

P: Probabilidad estadística

De las 2046 canales estudiadas, 938 fueron machos (45,8%) y 1108 fueron hembras (54,2%). En lo referente a las características de la canal, se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) para las variables de peso, porcentaje magro y espesor de tocino glúteo, de tal modo que, en las hembras se detectaron un mayor porcentaje de magro, un mayor espesor de panículo graso glúteo y un menor peso medio a la canal, que en los machos.

Por contra, las diferencias de panículo graso dorsal entre machos y hembras no fueron significativas ($P > 0,05$), a pesar de que los valores medios para las hembras fueron mayores que para los machos. Esta mayor cobertura grasa en las hembras podría ser la responsable de que los valores de temperatura en la canal fuesen ligeramente superiores al de los machos, si bien, tampoco existen diferencias significativas ($P > 0,05$) en los distintos tiempos de medida.

No se observaron diferencias significativas entre machos y hembras para las medidas de pH y CE a 45 min, siendo por el contrario, a partir de las 2 h cuando empezaron a producirse diferencias significativas ($P < 0,05$) en la CE, y a partir de las 8 h para el pH. De este modo, la CE fue algo más elevada en las hembras para la medida de 2 h, y especialmente elevada para la medida de 24 h, correspondiéndole por el contrario, un pH más bajo que en el caso de los machos.

Respecto a la influencia del sexo sobre la calidad de la canal, se detecta cierta tendencia a un mayor engrasamiento y una mejor conformación de las canales hembra que las canales macho. Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Granados (2001), quien a pesar de confirmar una tendencia al engrasamiento en las canales hembra, encuentra que los machos presentan menos peso y mayor porcentaje magro que las hembras, debido a que éstos alcanzaron antes el peso al sacrificio, dada su mayor precocidad.

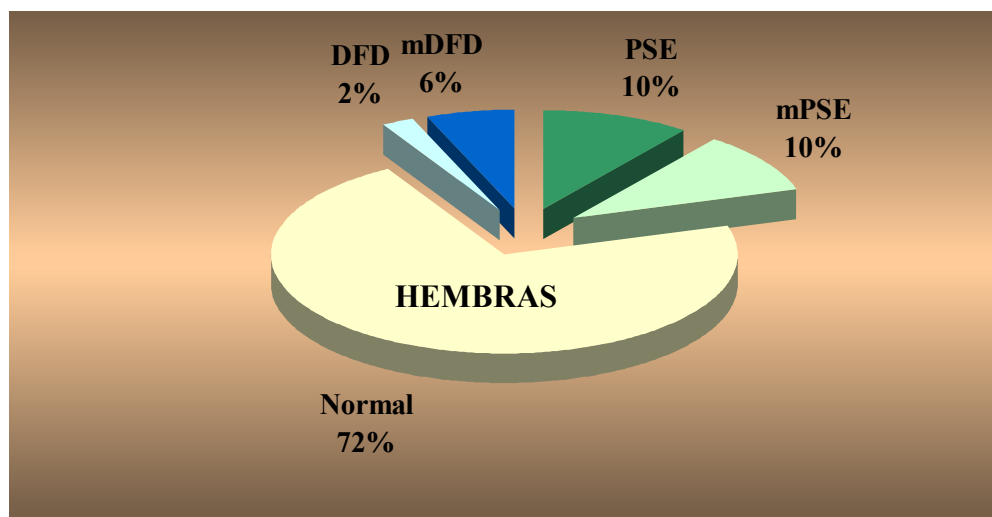
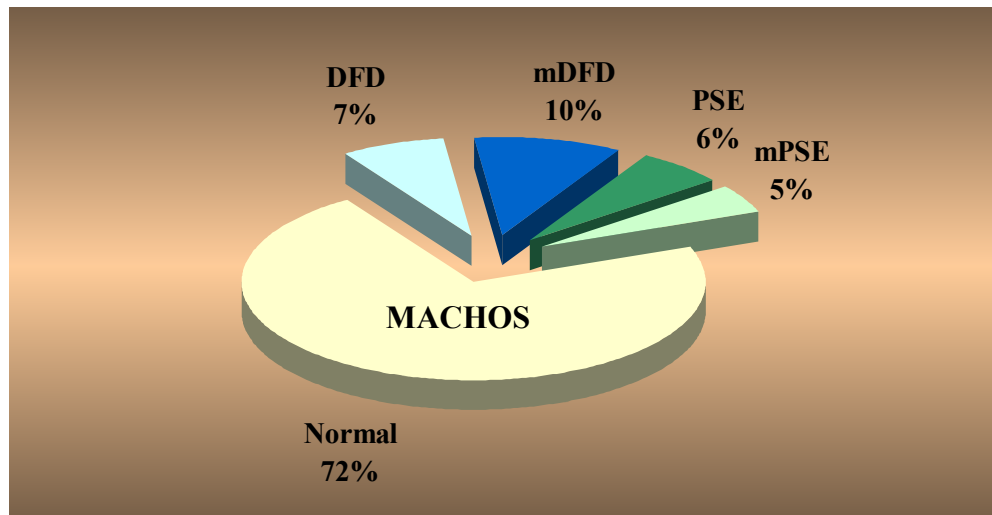
Este mayor engrasamiento de las canales hembra difiere con los resultados obtenidos por Pedauyé *et al.* (1994), al registrar mayor engrasamiento en los machos que en las hembras.

Respecto al estudio comparado de los indicadores de calidad de carne entre machos y hembras, se observa como los resultados obtenidos coinciden con los descritos por María Dolores (1993), Pedauyé *et al.* (1994) y Granados (2001), quienes afirman que el sexo no influye sobre el pH a 45 min ($P > 0,05$), pero sí sobre el pH a 24 h ($P < 0,05$), y con los resultados obtenidos por Evans *et al.* (1978) y Lundström *et al.* (1987), quienes afirman que las hembras tienen un pH_{24} inferior al de los machos. En cambio, difieren de Warriss *et al.* (1990c) y García (1992), quienes encuentran un pH_{24} mayor en las hembras que en los machos.

La Figura 47 muestra el porcentaje de las diferentes categorías de carnes detectadas en el músculo SM, según el sexo. De dicho estudio se desprende una mayor incidencia de carnes exudativas en la hembras y de carnes fatigadas en los machos, lo cual podría deberse en éstos últimos, a un mayor desgaste energético debido a sus condiciones de mayor agresividad, determinando en ellos un mayor grado de conmoción y fatiga, y en definitiva, una peor calidad de su carne (Wal *et al.*, 1999).

Por su parte, según Coma y Piquer (1999), la mayor incidencia de carnes PSE en las hembras que en los machos, puede tener su explicación en diferencias de utilización del glucógeno durante el ayuno, en la composición de fibras musculares o en el comportamiento durante el transporte y presacrificio.

Figura 47.
Porcentaje de carnes Exudativas, Fatigadas y Normales, según el sexo.



Estos resultados difieren de los obtenidos por Armero (1998) y Granados (2001), quienes encontraron una mayor tendencia a desarrollar la condición exudativa de la carne en los machos que en las hembras. Sin embargo, estos porcentajes coinciden con los obtenidos por García (1992), al encontrar en las hembras un 18% de carnes PSE y en los machos un 15%, y con los datos registrados por Campbell *et al.* (1997) en sus estudios, donde encontraron una mayor incidencia de carnes PSE en hembras que en machos.

Por su parte, Wal *et al.* (1997) no encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) en las características de calidad de la carne para las canales macho y hembra, siendo muy similares entre ambos grupos, si bien, el estudio se centró entre dos líneas genéticas de características muy similares, como fueron las líneas de alto desarrollo magro y las líneas de rápido crecimiento.

En cualquier caso, se debería prestar especial atención a las condiciones de manejo *ante mortem* a que son sometidos los animales, pues en el caso de los machos, parece preciso asegurar un reposo moderado que garantice la recuperación de la reserva de glucógeno muscular antes del sacrificio, y en el caso de las hembras, se debería prestar especial atención a las condiciones de transporte, descarga y estabulación presacrificio, con el fin de reducir al máximo los factores de estrés derivados de las mismas.

5.1.4. Influencia del peso de la canal

Con el fin de establecer la relación entre el peso de la canal sobre la calidad de la carne, se establecieron tres grupos de la variable en función a los pesos máximo y mínimo que la industria establecía como valores límite para ajustar el pago a los ganaderos.

El grupo I incluía a las canales con un peso igual o inferior a 60 kg, el grupo II las canales con pesos comprendidos entre 60 y 90 kg, y el grupo III, aquellas canales con más de 90 kg. De este modo, las canales con más de 90 kg y con menos de 60 kg primaban negativamente a los ganaderos y aquellas con pesos intermedios, lo hacían positivamente.

La Tabla 10 muestra los valores medios (M), la desviación estándar (D) de las medidas de pH y CE, para las tres categorías de peso establecidas.

Los resultados indican que no existen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre el pH a los distintos intervalos de tiempo *post mortem* estudiados y los tres grupos de pesos de la canal. A pesar de esto, el pH de las canales del grupo I presentó una caída más brusca entre los 45 min y las 2 h, que en el resto de grupos.

Tabla 10.
Media y desviación estándar del pH y la CE según el peso de la canal.

	Categorías de peso			P
	≤60 kg (n=105)	60-90 kg (n=1717)	≥90 kg (n=225)	
	M±D	M±D	M±D	
pH ₄₅	5,81±0,36 ^a	6,02±0,23 ^a	6,12±0,21 ^a	0,0507
CE ₄₅	5,60±1,87 ^a	4,25±1,00 ^b	4,01±0,46 ^b	0,0168
pH ₂	5,58±0,23 ^a	5,74±0,27 ^a	5,81±0,24 ^a	0,2815
CE ₂	7,70±3,93 ^a	5,56±2,71 ^b	4,48±1,06 ^c	0,0004
pH ₈	5,67±0,18 ^a	5,70±0,23 ^a	5,68±0,21 ^a	0,3434
CE ₂₄	8,97±3,52 ^a	7,65±2,34 ^a	6,28±1,92 ^b	0,0025
pH ₂₄	5,68±0,29 ^a	5,70±0,25 ^a	5,70±0,24 ^a	0,8508

Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

P: Probabilidad estadística

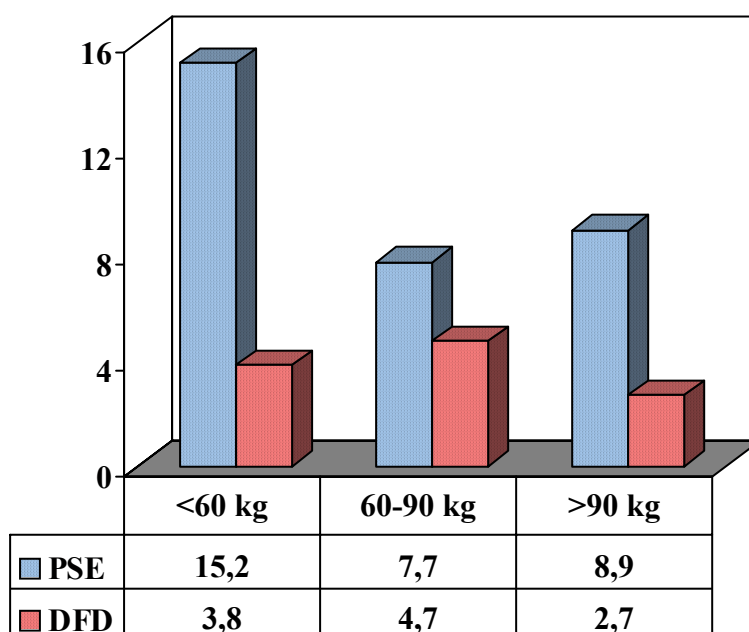
En este sentido, coincidiendo con nuestros resultados, Pospiech *et al.* (1989) observaron como el pH a 45 min del sacrificio, se eleva conforme aumenta el peso de la canal. Por su parte, el pH final fue similar en los tres grupos, alcanzando valores medios de 5,70, contrariamente a los datos registrados por García (1992) quien observó como el pH₂₄ aumentaba entre los 85 y 105 kg, y con Granados (2001), quien observó como las canales más ligeras presentaban un pH final más bajo.

La CE experimentó una dependencia con el peso de la canal, que fue especialmente significativa ($P < 0,001$) a las 2 h en las tres categorías de peso, a los 45 min en el grupo de menor peso ($P < 0,05$), y a las 24 h en el grupo de mayor peso ($P < 0,05$), apreciándose en general, altos valores de CE en cerdos de menos peso.

La clasificación de las canales según la calidad aparece reflejada en la Figura 48, donde se observa como los porcentajes máximos de carnes PSE se encuentran representados mayoritariamente en los grupos de peso por debajo y por encima de los valores umbrales recomendados a los ganaderos, y como a su vez, los porcentajes de carnes DFD, se mantienen prácticamente constantes en los tres grupos de peso.

Por este motivo, la decisión de primar negativamente a los ganaderos que aporten un ganado con un peso >90 kg y <60 kg, especialmente en este último caso, lleva asociado de forma indirecta la entrada masiva de animales con características de peso más homogéneas, evitando las pérdidas de calidad asociadas a los grupos de animales poco desarrollados. De este modo, cuando las canales pasan de 60 kg la calidad de la carne tiende a ser similar, con independencia de otros parámetros de la canal, y conforme menor es el peso, la calidad tiende a empeorar y a depender más directamente de dicho parámetro.

Figura 48.
Porcentaje de carnes PSE y DFD según el peso de la canal.



Además, como apunta Coma y Piquer (1999), la necesidad de implementar un sistema de pago en matadero basado en una buena combinación del porcentaje magro y conformación de la canal, la cual lleva implícito el peso de los animales, es vital para mejorar la calidad de nuestros mercados.

La tendencia a desarrollar carnes exudativas en canales de peso más bajo podría tener su explicación en el mayor desarrollo magro y mayor conformación de estas canales frente a las de mayor peso, como así se pone de manifiesto al observar como existe una clara tendencia a disminuir el porcentaje magro de la canal conforme aumenta su peso.

En este sentido, Bañón *et al.* (2000) afirman que la falta de peso de canal contribuye a exaltar los efectos de la selección magra, al observar como al disminuir el peso de la canal, menor es el engrasamiento y mayor el porcentaje magro. Estos autores coinciden con Laencina *et al.* (1996) quienes encontraron un incremento significativo de carnes PSE (14,3%) en las canales de mayor clase comercial y menor peso (<70 kg), para descender en las categorías intermedias (1,4-1,8 %) y posteriormente, elevarse de forma moderada (4,8%) en las canales de menor clase comercial y mayor peso (>85 kg).

García (1992), encontró una mejor calidad de la carne en canales con más de 95 kg de peso, al detectar una disminución de carnes PSE, y como en las canales con pesos superiores a la media (75,5 kg) y 95 kg, no se mejoraba la calidad.

El comportamiento entre estas variables de la canal se puede observar en la Tabla 8, donde el peso medio de la canal presentó niveles de correlación muy significativos ($P < 0,001$) con el resto de variables de la canal, siendo el magro ($r: -0,44$) y la grasa dorsal ($r: 0,48$) los que mejores niveles de correlación presentaron. María Dolores (1993) y Bañón *et al.* (2000) encontraron una relación similar entre el peso y el magro de la canal, al observar correlaciones parecidas.

En cambio, García (1992), encontró una correlación muy baja ($r: -0,07$), afirmando por ello que tanto el peso como el porcentaje magro no son los mejores parámetros para predecir la calidad de la canal. Garrido y Honikel (1996), también encontraron una correlación baja y positiva ($r: 0,25$) entre estas variables, resaltando que el peso de la canal y el porcentaje magro no ejercen una influencia significativa sobre las características de calidad.

Respecto a los indicadores de calidad de la carne, el peso sólo aparece asociado a un incremento del pH ($r:0,26$) y a una disminución de la CE ($r:-0,20$) a las 24 h ($P<0,05$), coincidiendo con Granados (2001), si bien, los coeficientes de correlación y niveles de significación obtenidos fueron ligeramente menores en todos los casos, excepto para la CE a 24 h, donde no encontró diferencias significativas ($P>0,05$).

Al realizar el estudio del porcentaje de clase comercial de la canal en los diferentes intervalos de peso (Tabla 11), se observa que los mayores porcentajes, principalmente la clase comercial E y U, se concentran en canales del grupo II, con pesos comprendidos entre los 60 y 90 kg.

De este modo, coincidiendo con los resultados obtenidos por Altmann y Lengerken (1991), Djikic *et al.* (1991) y García (1992), se puede establecer que el peso de la canal no es el indicador más apropiado para determinar su clase comercial.

Tabla 11.
Clase comercial de la canal según el peso.

	Clase comercial de la canal (%)					
	S	E	U	R	O	P
<60 kg	1,41	3,12	0,53	0,04	0,00	0,00
60-90 kg	7,18	48,90	23,69	3,41	0,58	0,09
>90 kg	0,19	4,39	4,73	1,41	0,19	0,04

Del mismo modo, tras estudiar la relación entre el peso y el porcentaje magro de la canal ($P < 0,001$), se pudo comprobar que el porcentaje de magro descendía conforme aumentaba el peso de la canal (Tabla 12), encontrando unos valores medios para los distintos grupos, similares a los obtenidos por Granados (2001).

Por el contrario, García (1992) obtuvo unos resultados de porcentaje magro en todas las categorías de peso, inferiores a los nuestros, y unos valores muy elevados cuando se superaban los 100 kg de peso.

Tabla 12.
Porcentaje magro de la canal según el peso.

	% Magro			
	N	M±D	Minimo	Maximo
<60 kg	105	57,98±2,99	48,20	64,60
60-90 kg	1717	55,89±3,36	38,60	63,90
>90 kg	225	53,61±3,56	39,80	61,10

M±D: Media ± desviación típica

5.1.5. Influencia de la clase comercial y la conformación de la canal

En la Tabla 13 se presentan la relación de canales según su clase comercial (S-EUROP), así como sus características de peso, porcentaje magro y panículo adiposo, observándose que las canales mejor clasificadas correspondieron a las de menor peso, a la vez que presentaron mayor porcentaje magro y menor espesor de panículo graso.

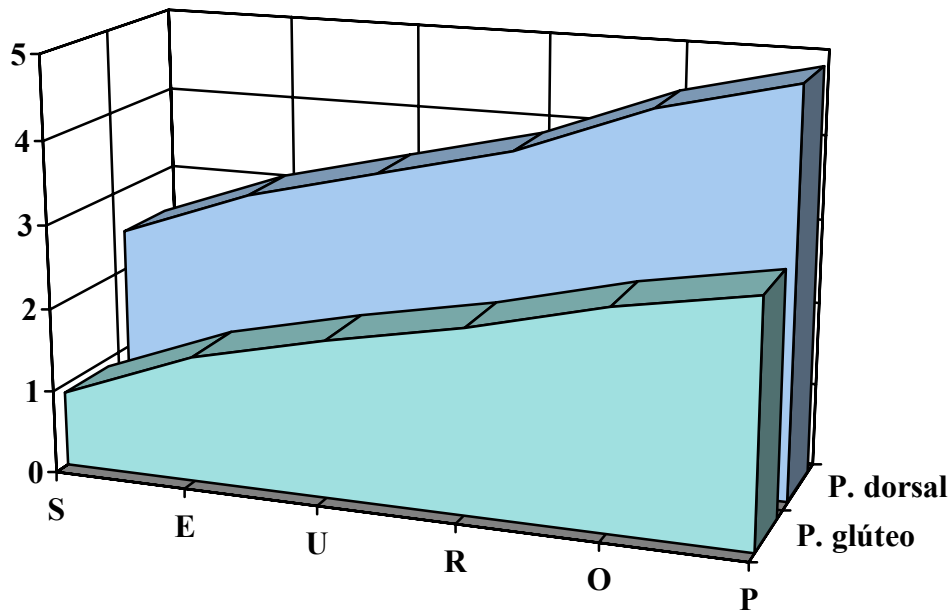
Tabla 13.
Características de la canal según la clase comercial S-EUROP.

Media y desviación estándar de las características de la canal estudiadas					
	N	Peso	Magro	Grasa dorsal	Grasa glútea
S	180	70,19±8,81	61,17±0,95	2,47±0,59	0,90±0,43
E	1.155	75,71±9,60	57,19±1,37	3,06±0,61	1,51±0,42
U	593	80,41±9,89	52,98±1,32	3,46±0,48	1,88±0,41
R	100	86,76±11,07	48,15±1,25	3,85±0,70	2,20±0,53
O	16	84,89±9,12	43,61±1,46	4,47±0,37	2,61±0,27
P	3	93,30±16,22	39,30± 0,62	4,86±0,23	2,90±0,25

Como se desprende de estos resultados, podemos observar en la Figura 49 la existencia de una relación inversa entre las medidas de reflectancia para la determinación del magro y las medidas directas de grasa. Esta tendencia se corresponde con un aumento del grosor de panículo graso, y en consecuencia, del engrasamiento de la canal, conforme la clase comercial va disminuyendo de categoría, lo cual se corresponde con canales más magras y de menor peso en los grupos de mayor categoría (S y E), y con canales menos magras y de mayor peso en los grupos de menor categoría (O y P).

Dado el escaso número de canales O y P, se establecieron tres grupos de clase comercial en función al criterio comercial de pago establecido por la industria, de modo que estos grupos fuesen estadísticamente más homogéneos para el estudio de los valores medios (ANOVA). Así, el grupo I quedó constituido por aquellas canales de clase comercial S, con un porcentaje de magro mayor al 60%, el grupo II, por las canales de las clases E y U, con un porcentaje magro intermedio entre el 50-60%, y el grupo III, por las canales de clase R, O y P, con un porcentaje magro inferior al 50%.

Figura 49.
Panículo graso de la canal según la clase comercial S-EUROP.



De este modo, la industria establece una mejora proporcional en el pago de las canales con mayor porcentaje magro, el cual se refleja en un único pago que combina además, otras características de la canal como son el peso, el espesor graso o el sexo, de cuya combinación se establece una clasificación subjetiva de la canal, clasificación EBRM, cuyo fin es el de mejorar los rendimientos productivos mediante el pago mejorado de las canales más conformadas.

La Tabla 14 muestra el estudio comparado de las medias de CE y pH para las distintas categorías de la clase comercial de la canal según la clasificación S-EUROP.

Tabla 14.
Calidad de la carne según la clase comercial S-EUROP.

	Media y desviación estandar de pH y CE en los grupos de clase comercial			P
	Grupo I (S) (n=180)	Grupo II (E,U) (n=1748)	Grupo III (R,O,P) (n=119)	
pH₄₅	5,93±0,25 ^a	6,04±0,24 ^a	6,03±0,14 ^a	0,1564
pH₂	5,64±0,22 ^a	5,76±0,27 ^a	5,68±0,17 ^a	0,1087
pH₈	5,64±0,20 ^b	5,70±0,22 ^a	5,74±0,23 ^a	0,0103
pH₂₄	5,65±0,22 ^a	5,70±0,26 ^b	5,67±0,24 ^{ab}	0,0306
CE₄₅	4,69±1,35 ^a	4,23±0,98 ^a	4,10±0,53 ^a	0,1399
CE₂	5,19±2,55 ^a	4,84±2,18 ^b	4,57±1,65 ^b	0,0404
CE₂₄	7,94±2,12 ^a	7,44±2,45 ^a	7,35±1,68 ^a	0,6677

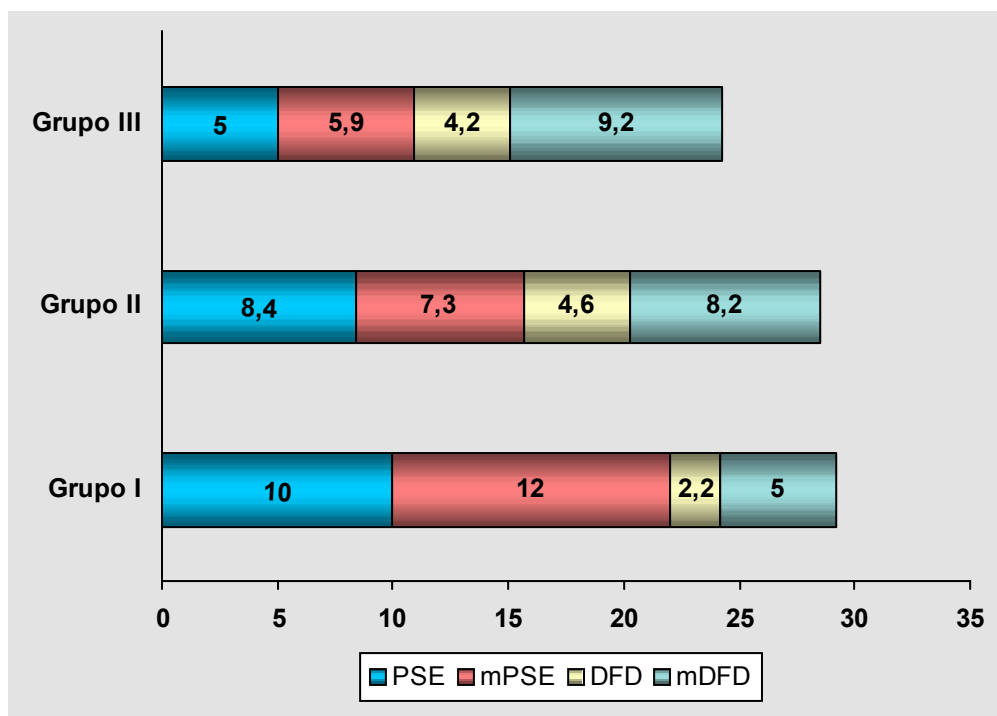
Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P<0,05)

P: Probabilidad estadística

En ella se observan diferencias significativas (P<0,05) para las medias de pH₈, principalmente entre la categoría de mayor clase comercial y el resto, y en el caso de la CE, a pesar de encontrar diferencias significativas (P<0,05) a las 2 h en el grupo de mayor porcentaje magro, el resto de medidas de CE no presentaron diferencias a pesar de que los valores medios fueron diferentes entre las tres categorías. Las clases con mayor porcentaje magro (>60%) presentan un pH₈ más bajo que el resto de grupos, así como una CE más alta, especialmente significativas (P<0,05) en la categoría comercial S. Por este motivo, y a diferencia de los resultados obtenidos por otros autores como García (1992), quien sólo detecta una influencia significativa de la clase comercial con el pH₄₅, y Schmitt *et al.* (1987) quien no encuentra diferencias significativas con la CE₂, si se observa una moderada influencia del porcentaje magro de la canal sobre la calidad de la carne, corroborando la relación inversa entre conformación de la canal y calidad de carne detectada por otros autores (Diestre *et al.*, 1990; Oliver *et al.*, 1991).

Como se observa en la Figura 50, estas diferencias se corresponden con un mayor desarrollo de carnes exudativas en los grupos donde mayor es la clase de la canal, principalmente en grupo I, y por el contrario, la distribución de carnes fatigadas presenta una mayor constancia entre grupos, en el caso de las carnes DFD, y una moderada tendencia al alza conforme disminuye la clase comercial, en las mDFD.

Figura 50.
Distribución de calidad según los grupos comerciales de clase S-EUROP.



Además, podemos observar como los grupos de mayor clase comercial, I y II, concentran aproximadamente un 60% de estos defectos, frente al 25% que acumula el grupo III, por lo que se desprende cierta tendencia al desarrollo de carnes de peor calidad conforme la clase comercial es mayor. Por este motivo, sería conveniente plantearse una mejor aplicación del pago de canales en función a su conformación, pues a pesar de que las canales con mayor desarrollo magro reportan mejores rendimientos productivos a la industria, la calidad de esas carnes y de los productos derivados de las mismas, queda cuestionada.

Esta mayor tendencia al desarrollo de carnes PSE en las canales de mayor clase comercial coincide con los resultados obtenidos por García (1992), Pedauyé *et al.* (1994) y Granados (2001). Según Warnants *et al.* (1993), esto podría tener su explicación en el hecho de que la utilización de razas conformadas, con el propósito de favorecer el desarrollo de la producción porcina mediante la obtención de canales con un alto contenido en magro, lleva asociado una alta incidencia del gen halotano responsable del Síndrome de Hipertermia Maligna y de la obtención de carnes de baja calidad. Gispert *et al.* (1999), establecieron una relación directa entre frecuencia de gen halotano, porcentaje magro e incidencia de carnes PSE en 5 mataderos Españoles.

El estudio de correlación entre el magro y el resto de variables (Tabla 8), determina una fuerte correlación entre magro y grosor del panículo adiposo dorsal ($r:-0.61$) y glúteo ($r:-0.67$), con una $P<0,001$ en ambos casos, lo cual viene a corroborar la asociación entre apreciación subjetiva y la medida por reflectancia del engrasamiento de la canal, comportándose esta última medida como un buen indicador de la calidad de la canal, coincidiendo con los datos obtenidos por Branscheid *et al.* (1991) y García (1992).

También destaca la existencia de un nivel moderado de significación entre el magro y el pH₈ (P<0,01) y el pH₂₄ (P<0,05), lo cual se corresponde con las diferencias en los valores medios de porcentaje magro encontradas a partir de las 8 h del sacrificio.

Por su parte, en la Tabla 15 aparecen reflejadas la relación de canales según su valor subjetivo de conformación, así como sus características de peso, porcentaje magro y espesor de panículo adiposo.

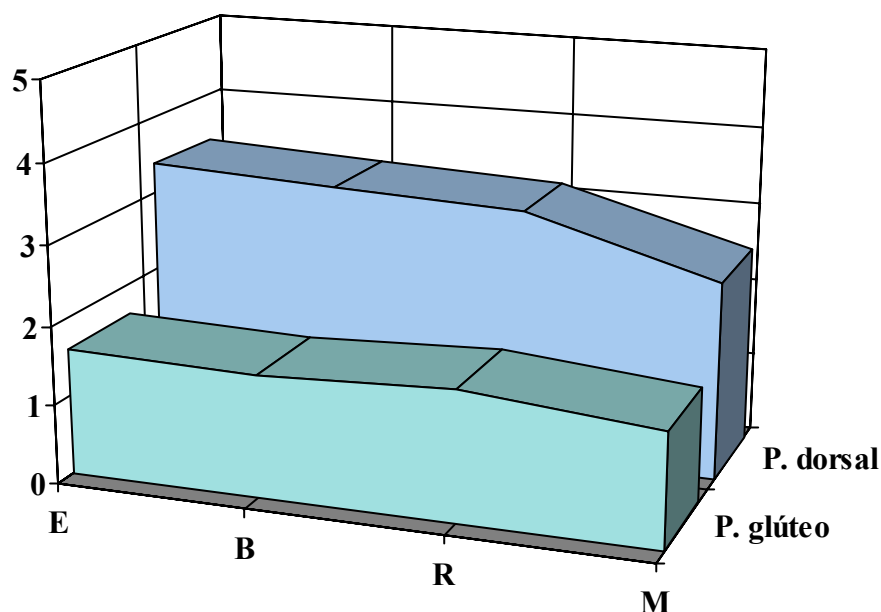
Tabla 15.
Características de la canal según la conformación EBRM.

Media y desviación estándar de las características de la canal					
	N	Peso	Magro	Grasa dorsal	Grasa glútea
E	134	78,36±9,66	57,51±3,25	3,38±0,31	1,59±0,25
B	1.034	78,07±9,88	56,28±3,00	3,27±0,64	1,54±0,49
R	848	76,02±10,55	54,87±3,77	3,17±0,80	1,64±0,54
M	31	74,56±16,56	54,14±4,29	2,50±0,65	1,43±0,83

Como muestra la tabla, tanto el peso de la canal como el porcentaje magro, disminuyen conforme peor es la conformación de la canal, característica ésta diferente a la clase comercial.

Como muestra la Figura 51, la tendencia del grosor de panículo graso, es a la constancia o incluso a la baja, conforme el valor de conformación va disminuyendo. El espesor de grasa dorsal disminuye conforme decrece la conformación subjetiva de la canal, mientras que los valores medios de grasa glútea son constantes.

Figura 51.
Engrasamiento de la canal según la conformación subjetiva.



La Tabla 16 muestra el estudio comparado de las medias de CE y pH para las distintas categorías de conformación de la canal según la clasificación subjetiva EBRM. En líneas generales, se aprecian diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el grupo de mejor conformación (E) y los grupos de conformación intermedia (R y M), para la variable CE a 45 min y 2 h, y con el grupo de peor conformación, con la CE₂.

Por su parte, del pH sólo destacaron las diferencias ($P < 0,05$) entre las categorías B y R para las medidas a 8 horas y la uniformidad del valor para el resto de tiempos, a excepción del pH a 45 min, el cual presentó una tendencia clara al alza en sus valores medios desde los grupos de mayor a menor conformación.

No obstante, el menor tamaño de muestra de la categoría E respecto a las categorías B y R, condicionó la interpretación estadística de los resultados pues como se observa para el pH₈, los valores medios de E y B son idénticos y sólo se detectan diferencias significativas ($P < 0,05$) entre B y R. De igual modo, parece sorprendente que la CE₂₄ en E no establezca diferencias con el resto de categorías.

Tabla 16.
Calidad de la carne según la conformación EBRM.

	Conformación subjetiva				P
	E (n=134)	B (n=1034)	R (n=848)	M (n=31)	
pH ₄₅	5,90±0,32 ^a	5,98±0,24 ^a	6,07±0,22 ^a	6,15±0,10 ^a	0,1518
pH ₂	5,60±0,21 ^a	5,77±0,25 ^a	5,75±0,28 ^a	5,60±0,16 ^a	0,1087
pH ₈	5,68±0,22 ^{ab}	5,68±0,22 ^a	5,72±0,22 ^b	5,78±0,30 ^{ab}	0,0130
pH ₂₄	5,70±0,25 ^a	5,70±0,27 ^a	5,70±0,25 ^a	5,66±0,28 ^a	0,9370
CE ₄₅	5,45±1,98 ^a	4,28±1,15 ^b	4,16±0,72 ^b	4,35±0,07 ^{ab}	0,0066
CE ₂	7,56±3,57 ^a	4,90±2,15 ^b	4,39±1,57 ^c	4,44±1,66 ^{bc}	0,0006
CE ₂₄	8,65±2,52 ^a	7,27±2,52 ^a	7,58±2,31 ^a	7,40±0,56 ^a	0,7153

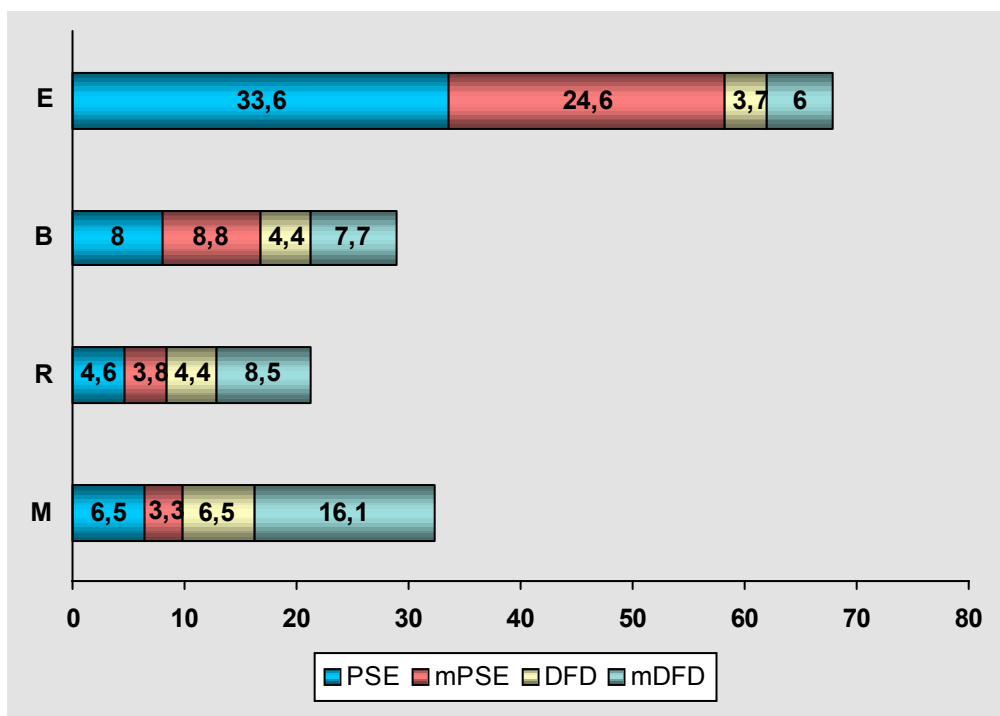
Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

P: Probabilidad estadística

Este comportamiento de los indicadores de calidad indican cierta capacidad de discriminación de la medida de la CE₂, y en menor medida del pH₈, para la estimación de carnes de baja calidad, en base a los diferentes grupos de conformación subjetiva de la canal. En este sentido, y como se observa en la Figura 52, la incidencia de carnes DFD en las distintas categorías de conformación fue baja y uniforme, mientras que para el caso de las carnes PSE, existe una clara tendencia a que las canales más conformadas desarrollen más el defecto PSE (máximo en E).

Así, podemos observar que el grupo E es sin duda el que peor calidad reporta a la industria, pues en él se concentra cerca del 60% de carnes exudativas, y casi un 70% de carnes de baja calidad, seguido muy de lejos de los grupos M y B, con aproximadamente un 30% de carnes de baja calidad, y el grupo intermedio R, que fue el que experimento los mejores índices de calidad, al presentar tan sólo un 20% de carnes de baja calidad.

Figura 52.
Calidad de la carne según la conformación subjetiva EBRM.



Por este motivo, al igual que ocurre con la clase comercial, son los grupos de mejor conformación los que proporcionan peor calidad en la carne y productos derivados. Del mismo modo, la industria mejora su rendimiento productivo final al dar entrada a una mayor cantidad de animales conformados, pero por otro lado, sufre mayores pérdidas económicas derivadas de una considerable merma en la calidad de los productos derivados de esas carnes, así como de las cuantiosas primas realizadas a los ganaderos para incentivar la producción de animales de mayor aptitud cárnica.

Del estudio conjunto de ambas variables, clase comercial y conformación de la canal, se desprende que las medidas de reflectancia para la determinación del magro guardan una relación inversa con las medidas directas de grasa y peso de la canal, mientras que en el caso de la estimación subjetiva de la conformación, se mantiene una relación directa entre las medidas de peso, magro y grasa.

Por otro lado, se observa una clara tendencia a que en las canales mejor clasificadas (Grupo I, clase S) y mejor conformadas (E), aparezca una mayor incidencia del defecto PSE, y a que el defecto DFD se encuentre más representado en los grupos más bajos de clase (Grupos II y III) y conformación (M), con una incidencia mucho menor a la de las carnes PSE.

Esta relación existente entre la calidad de canales muy conformadas y la obtención de carnes exudativas ha sido estudiada por diversos autores; Blendl *et al.* (1986), García (1990), Diestre *et al.* (1990), Oliver *et al.* (1992); observaron que el porcentaje de carnes PSE aumentaba sustancialmente en canales con más de un 52% de magro.

No obstante, según Laencina *et al.* (1996) y Granados (1997), el empleo de cruces genéticos con machos finalizadores pertenecientes a nuevas razas o líneas sintéticas, combinado con un buen manejo *ante mortem* de los animales, mejoraría considerablemente la calidad de las carnes magras, al encontrar niveles muy bajos de carnes PSE en canales de más de un 57% de magro.

En el mismo sentido, Tornberg *et al.* (1994) no encontraron diferencias significativas entre los parámetros sensoriales de calidad, jugosidad, ternura y aroma, correspondientes a muestras de lomo con un 56 y 62% de magro, por lo que no pudieron establecer una clara conexión entre el desarrollo magro y la pérdida de calidad.

En conclusión, el estudio de calidad establecido para determinar la categorización comercial de la carne obtenida en la industria donde se realizaron los ensayos, permitió clasificar los registros de CE₂, pH₈ y pH₂₄, como los indicadores de calidad más eficaces, dada su mayor estabilización y precisión a la hora de tipificar los diferentes tipos de carne.

En cuanto al número y tipo de ensayos, se optó por la realización de un estudio representativo de todas las fases del sacrificio, faenado y enfriamiento de animales y canales, tratando de forma separada aquellos aspectos técnicos del proceso, que fueron previamente seleccionados por su especial diseño, desarrollo o función, como posibles causas de merma de calidad, con el fin de poder establecer su incidencia sobre la calidad final de la carne.

5.2. Controles realizados en las diferentes fases de producción

5.2.1. Fase previa al sacrificio

5.2.1.1. Influencia de las condiciones de estabulación previa al sacrificio de los animales sobre la calidad de la carne

Introducción y objetivos

En primer lugar, se procedió al estudio de las condiciones propias de estabulación, como fueron la duración de dicho periodo, la estabulación realizada durante el día o la noche, y la duración del duchado previo al sacrificio, con el fin de establecer aquellas condiciones del reposo que fuesen mejores para garantizar el bienestar de los animales, y en definitiva, para la obtención de una mejor calidad de la carne.

Así, tras realizar el transporte y someter a todos los animales a similares procesos de descarga, éstos fueron introducidos en las cuadras procurando ubicar los cerdos de un mismo lote en una o en cuadras anexas, teniendo para ello en cuenta, la procedencia de los animales, la disponibilidad de espacio y el tamaño del lote. La composición de los lotes estudiados fue amplia, y dependió básicamente del lugar de procedencia y del tipo de explotación, de modo que se dieron casos en que los lotes eran sólo de hembras, machos, o hembras reproductoras, o bien, que estuvieran mezclados, lo cual era más frecuente. En el caso de lotes mixtos, la proporción de machos siempre fue superior a la de hembras, por lo que eran frecuentes los intentos de monta de machos sobre hembras y las peleas entre machos.

Esta situación provocaba un aumento de la agresividad en los animales implicados, y en consecuencia, un mayor desarrollo de heridas en piel, magulladuras, hematomas, golpes etc., así como una mayor intranquilidad y nerviosismo en el resto de animales durante el reposo.

Las demás condiciones de estabulación fueron idénticas para todos los animales, de tal modo que todos ellos fueron duchados a su llegada a los corrales, recibiendo como único aporte, agua *ad libitum*, y haciéndolos pasar antes del sacrificio por las cuadras de duchado con agua a temperatura ambiente. También fueron sometidos a similares condiciones de manejo, tales como la carga hacia las mangas previas a la zona de aturdido, aturdido mediante anestesia con CO₂ y resto de operaciones tras al sacrificio.

Diseño experimental

El estudio fue realizado sobre un total de 2875 animales agrupados en 37 lotes, pertenecientes a un total de 31 explotaciones ganaderas de la Región de Murcia y provincias limítrofes, entre los meses de marzo y diciembre. El tamaño de los lotes osciló entre los 24 y los 208 animales. Las granjas estaban localizadas a una distancia media de $64,4 \pm 83,5$ km del matadero, de modo que el 70% de ellas se encontraban a menos de 50 km, un 20% entre 50-100 km y tan sólo el 10% a más de 100 km. Por este motivo, el 90% de estos transportes se realizaron en tiempos comprendidos entre los 15 min y 1 h, y el resto, en 2-3 h aproximadamente.

La calidad de la carne fue establecida mediante las medidas de pH y CE, como ya fue descrito en el punto 5.1., y clasificada como carne PSE cuando los registros de CE a las 2 h, tras el paso de las canales por el oreo rápido, fue mayor o igual a 8 mS/cm, y como carne DFD cuando las medidas de pH a 8 ó 24 h, indistintamente, durante el mantenimiento refrigerado de las canales, fueron mayores o igual a 6,2.

Para el estudio de la estabulación de los animales, la variable fue acotada en tres categorías de estudio, basándose en las tres tendencias predominantes en los procesos de entrada de los animales en los corrales del matadero.

En el grupo A quedaron incluidos los animales que realizaron un reposo mínimo durante el día, los cuales procedían de granjas cercanas al matadero, por lo que el transporte hacia el lugar de destino fue de pequeño recorrido. El grupo B incluía a los animales que tuvieron un reposo moderado durante el día, procedentes de granjas ubicadas a una distancia media entre 50-100 km, que realizaron transportes de medio recorrido. El grupo C correspondió a los animales con reposo máximo que pernoctaron durante toda la noche y que procedían de granjas ubicadas en provincias limítrofes, a más de 100 km de distancia, realizando viajes de gran duración hasta llegar al matadero.

Resultados

En la Tabla 17 aparecen los valores medios y desviación estándar de las tres categorías de reposo descritas, para las diferentes variables relacionadas con la estabulación que fueron estudiadas. También se muestra el estudio comparado de los valores medios de los indicadores de calidad de carne.

El valor medio de la estabulación de los animales en las cuadras fue de $7,56 \pm 5,16$ h (grupos A, B y C), siendo de $3,98 \pm 1,92$ h para aquellos animales que reposaron por el día (grupos A y B), y de $13,84 \pm 2,38$ h para los que pernoctaron en los corrales (grupo C). El tiempo medio de estancia en las cuadras de duchado fue de $35,36 \pm 9,29$ min, y el de aplicación del duchado de $21,97 \pm 6,47$ min. La temperatura ambiente durante el reposo de los animales, osciló entre los $26,5 \pm 5,1$ °C de máxima y los $14,8 \pm 4,3$ °C de mínima.

Tabla 17.
Valores medios de las variables relacionadas con la estabulación y calidad de la carne.

	Grupos de reposo			P
	Grupo A	Grupo B	Grupo C	
Casos	937	896	1042	
Reposo (h)	2,51±0,82	5,52±1,50	13,84±2,28	-
Estancia en duchado (min)	35,28±10,17 ^b	36,78±8,58 ^a	26,77±0,97 ^c	0,0000
Duchado (min)	23,85±7,32 ^a	21,12±5,89 ^b	18,61±0,48 ^c	0,0000
CE ₂	4,91±2,26 ^a	4,64±1,92 ^b	4,96±2,33 ^a	0,0031
pH ₈	5,69±0,22 ^b	5,72±0,22 ^b	5,77±0,23 ^a	0,0000
pH ₂₄	5,58±0,18 ^c	5,72±0,25 ^a	5,64±0,24 ^b	0,0000

Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P<0,05)

P: Probabilidad estadística

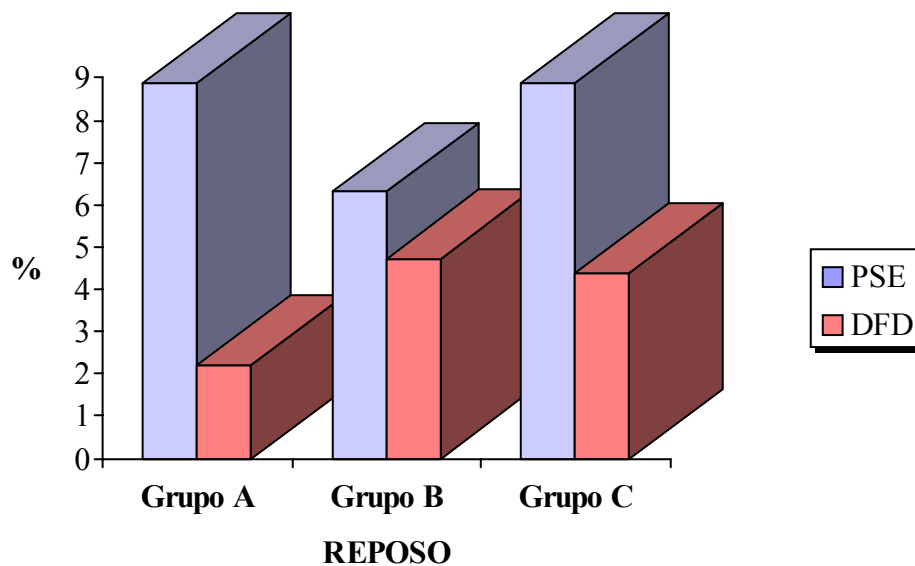
Debemos resaltar la tendencia clara a que los animales que reposaron por mayor espacio de tiempo, esto es, los que pasaron toda la noche antes de ser sacrificados, permanecieron por menos tiempo en las cuadras de duchado, a la vez que fueron duchados por menor espacio de tiempo que el resto de animales que reposaron durante el día (P<0,001), a diferentes espacios de tiempo.

Por otro lado, destaca el comportamiento moderado al alza que presenta la CE₂, tanto en el grupo C, donde la estabulación de los animales fue mayor, como en el grupo A, donde el reposo fue menor, los cuales mostraron diferencias significativas (P<0,001) con el grupo de reposo moderado, que presentó la CE más baja. Los valores medios de pH₈ presentaron una tendencia hacia el alza conforme aumentaba el tiempo de reposo, encontrando diferencias significativas (P<0,001) entre el grupo de animales que pernoctaron en las cuadras y el resto de grupos.

No obstante, la tendencia del pH₂₄ no se correspondió con valores altos de pH en este grupo de animales, sino todo lo contrario, el pH aquí descendió y presentó diferencias significativas ($P < 0,001$) con los grupos de reposo diurno, siendo el grupo de reposo moderado el que presentó un pH más alto.

Los indicadores de calidad mostraron cierta tendencia a un mayor desarrollo del defecto PSE en los grupos de mínimo y máximo reposo, y una tendencia casi pareja a desarrollar el defecto DFD en las diferentes categorías, siendo escasa por debajo de 3 h y moderada en los demás grupos (Figura 53).

Figura 53.
Porcentaje de carnes de baja calidad según el reposo de los animales.



La incidencia más baja de carnes PSE (6,3%) se encontró en la franja de reposo intermedio comprendido entre 4 y 8 h, coincidiendo con los resultados obtenidos por Sackmann (1988); Honkavaara (1989b); Eikelenboom *et al.* (1991); Diestre (1993) Fischer (1996) y Warriss *et al.* (1998b), y por el contrario, la incidencia más alta (8,9%) se observó por debajo de 3 h de reposo, coincidiendo de igual modo con Diestre y Arpa (1984); Calvar y Pellois (1987) y Eikelenboom y Bolink (1991).

No obstante, Garrido *et al.* (1992) también observaron un comportamiento parecido en la incidencia PSE según el reposo de los animales, al encontrar porcentajes de carne PSE muy elevados en periodos de reposo por debajo de 3,5 h (hasta un 23,47%), y en periodos de reposo superiores a 6 h (hasta un 22,85%). García (1992), aunque también encontró mayores porcentajes de carne PSE en aquellos cerdos que reposaron escasamente 1-2 h, y por espacio de 8 h, acabó matizando, de forma contraria a nuestros resultados, que el mejor periodo de reposo era el que no sobrepasaba los 30 min, pues permitía relajar a los animales del estrés del transporte, y el periodo de 12 h, pues este ayudaba a relajar los animales de nuevo al permitir familiarizarse con el entorno.

Gispert *et al.* (2000), encontraron mejores índices de calidad en periodos de reposo menores a 3 h y mayores a 9 h, y Fortin (1989), constata una importante reducción de carnes PSE tras periodos de reposo inferiores a 30 min, frente a reposos de 6 h.

La gran incidencia de carnes PSE en franjas horarias tan altas, hace sospechar en el hecho de que estar tantas horas en las cuadras suponga un factor estresante añadido en aquellos animales especialmente susceptibles a desarrollar el síndrome de estrés porcino, además de que puedan darse la influencia conjunta de una serie de factores, como soportar una elevada temperatura ambiente y un alto nivel de ruidos en los corrales, consecuencia de peleas y disputas entre animales, etc.

En este sentido, según Fischer (1996), después de un periodo de reposo óptimo de 2-4 h, conforme se incrementa el número de horas en los corrales, se observa de nuevo una reactivación del metabolismo y del sistema circulatorio termorregulador, siendo la causa de que la proporción de carnes PSE se eleve en vez de continuar descendiendo.

Respecto a las carnes DFD, se observa una incidencia entre moderada y escasa de éste defecto, con valores más altos en reposos intermedios y altos, que en reposos bajos, observándose valores medios ligeramente más altos en reposos de 4-8 h, coincidiendo con los resultados de García (1992), sin que exista una clara tendencia al alza conforme aumenta el tiempo de reposo de los animales, pues a pesar de que se detectaron valores superiores al 5% por encima de las 11 h, y del 7% a partir de las 16 h, los valores medios en reposos largos no llegaron a ser muy altos (4,4%).

Este comportamiento de la incidencia de carnes DFD en animales que reposaron toda la noche tras realizar viajes muy largos, hace sospechar de que dichos animales hayan podido recibir suplementos energéticos como la administración de azúcares en el agua de bebida, definido en su día por Gardner y Cooper, (1979) como una medida preventiva efectiva en casos DFD, permitiendo una caída más pausada del glucógeno muscular durante las fases de transporte y estabulación, y a la vez, ser la responsable del aumento moderado detectado en la incidencia de carnes PSE, especialmente en casos de animales sensibles al estrés o a los sistemas presacrificio (Pethick *et al.*, 1997).

Warriss *et al.* (1990b); Garrido *et al.* (1992); Fischer (1996) y Gispert *et al.* (2000), coinciden en afirmar que la aparición de carnes DFD se incrementaba cuando los tiempos de espera y ayuno previos al sacrificio se prolongaban en exceso, como consecuencia de una mayor depleción del glucógeno muscular.

El hecho de obtener una elevada proporción de carnes DFD en tiempos de reposo moderados, Pedauy  (1993) los achaca a la escasez de tiempo que tienen algunos animales para recuperar los niveles normales de glucógeno muscular perdidos durante las operaciones de carga, transporte y descarga.

En cualquier caso, si se comparan de forma conjunta los grupos que reposaron por el día (grupos A y B) frente al grupo C, que reposo durante toda la noche, se puede comprobar como existen diferencias significativas entre ambos grupos de animales, para los valores medios de CE ($P < 0,05$) y pH ($P < 0,001$), y como en este caso, se encontraron diferencias más evidentes entre grupos, al detectarse un ligero empeoramiento de la calidad de la carne en aquellos animales que pasaron toda la noche en las cuadras de reposo antes del sacrificio (8,9% PSE y 4,4 DFD), con respecto a los sacrificados en el transcurso del día, con menos horas de reposo (7,6% PSE y 3,4% DFD).

Esta mayor incidencia DFD durante la estabulación prolongada, ya fue constatada por Warriss *et al.* (1990b) como resultado de la mayor depleción del glucógeno muscular producida como consecuencia de la inanición de los animales, el mayor número de peleas, y la presencia de factores inespecíficos de estrés asociados con el mantenimiento de los animales en ambientes poco familiares.

En la misma línea, Fischer (1996) puntualiza que los reposos que exceden del día de llegada de los animales al matadero no reportan ventajas, sino al contrario, conducen hacia un incremento del estrés, un mayor consumo de energía, a mayores pérdidas de peso en la canal y en consecuencia hacia una peor calidad de la carne. **Warriss *et al.*** (1998b), encuentran una elevada proporción de carnes DFD en animales estabulados toda la noche, frente a los estabulados un menor número de horas.

Estos autores desaconsejan por completo esta práctica, pues a pesar de que pudieron observar una reducción de los niveles de estrés fisiológico y físico en los animales que pernoctaron en las cuadras, se registraron más peleas entre animales y mayores pérdidas por daños sufridos en la piel, tanto en el rendimiento de la canal, cifradas en 1,6 kg por canal (0,023%), como en el espesor de panículo adiposo, que fue del orden de 0,3 mm (0,03%).

En una segunda experiencia, se estudió la influencia del duchado de los animales previo al sacrificio sobre la calidad final de la carne, estableciendo 3 categorías en función a la duración del mismo (duchado corto, medio y largo), tal y como aparece en la Tabla 18.

Tabla 18.
Valores medios de las variables relacionadas con el duchado de los animales.

	Duración del duchado			P
	Corto (<20 min)	Medio (20-29 min)	Largo (≥30 min)	
Casos	579	381	242	
Duchado (min)	16,54±2,39 ^c	23,90±3,33 ^b	31,92±1,07 ^a	0,0000
Reposo (h)	5,90±2,92 ^a	3,99±0,72 ^b	2,62±1,10 ^c	0,0000
CE ₂	4,54±1,70 ^b	4,86±2,22 ^a	4,56±1,96 ^{ab}	0,0279
pH ₈	5,68±0,21 ^a	5,72±0,21 ^a	5,69±0,23 ^a	0,1480
pH ₂₄	5,71±0,24 ^b	5,70±0,27 ^b	5,95±0,20 ^a	0,0000

Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P<0,05)

P: Probabilidad estadística

Se comprobó que los animales que menos tiempo habían reposado, eran sometidos a tiempos más prolongados de duchado previo al sacrificio, y al contrario, como los animales que habían estado por mayor espacio de tiempo en los corrales de estabulación, fueron duchados por menor espacio de tiempo ($P < 0,001$) (Tabla 17).

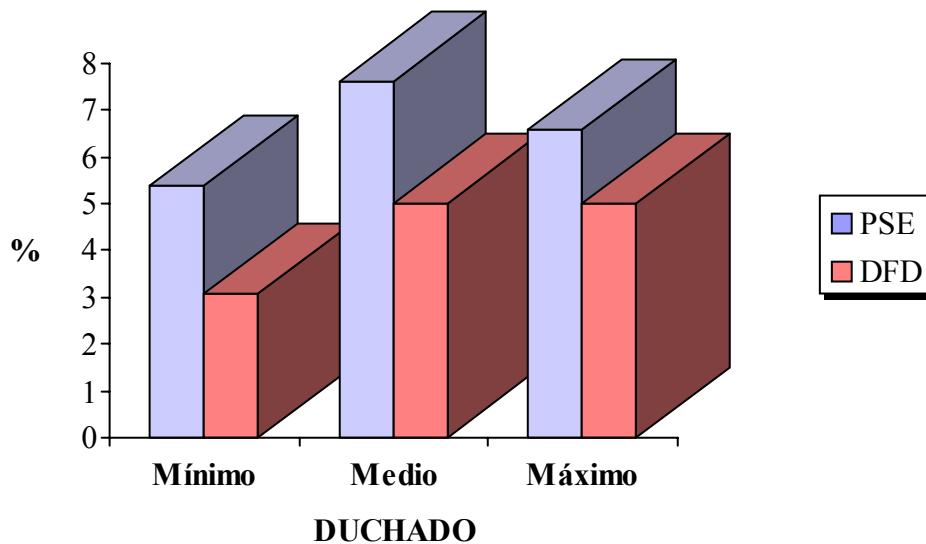
Se observaron diferencias significativas en el valor de CE_2 ($P < 0,05$) y pH_{24} ($P < 0,001$), para las tres categorías de duchado, que se tradujeron en una tendencia moderada a elevarse los defectos PSE y DFD conforme la duración del duchado se iba incrementando.

Ello se tradujo a su vez, en una incidencia moderada de ésta variable sobre la calidad final de la carne (Figura 54), puesto que no quedó claro que el efecto del duchado sobre la calidad final de la carne actuase con independencia del tiempo de reposo de los animales.

Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Tarrant (1989), quien observó una pérdida de calidad conforme se aplicaban tiempos de duchado más cortos, según el autor, debido a que la aplicación de duchas muy cortas no dan tiempo a disipar de forma eficaz la elevada temperatura de la superficie corporal de los animales.

En este sentido debemos matizar que en nuestro estudio, los animales que eran duchados en menor tiempo, procedían de periodos de reposo lo suficientemente prolongados como para disipar la posibilidad de que pudiesen presentar elevadas temperaturas corporales en el momento del duchado.

Figura 54.
Porcentaje de carnes de baja calidad según la duración del duchado.



Además, Long y Tarrant (1990) encontraron que la aplicación de duchas de agua a una intensidad de 27 l/min/m^2 durante un periodo largo de tiempo, dividido en dos periodos de 30 min y un descanso de 30 min entre ambos, conducían a caídas de temperatura en la masa muscular de $3,5^\circ\text{C}$ en invierno y de 2°C en verano, suficientes para reducir la incidencia PSE en invierno, aunque no en verano. Por este motivo, en estudios estacionales como el presente, donde los registros de duchado se realizaron en su mayoría durante la época estival, con una temperatura del agua en torno a $18\text{-}20^\circ\text{C}$ y una temperatura ambiente claramente superior a los 30°C , además de la duración del duchado hay que tener en cuenta las condiciones previas y el momento de su aplicación, y en concreto, la temperatura ambiental y del agua, pues como afirma Tarrant (1989) una posible explicación para estas diferencias estacionales la encontremos en la temperatura del agua en invierno (9°C) y en verano (16°C).

En este sentido, Bak y Wajda (1997) encontraron que los cerdos sacrificados en invierno experimentaron menos pérdidas de peso en canal que los sacrificados en verano, encontrando que la carne de los cerdos sacrificados en invierno presentaba menor contenido proteico y mayor contenido graso, caracterizándose por una mejor acidez y capacidad de retención de agua que las carnes de los animales sacrificados en verano.

En cualquier caso, se pudo comprobar que el hecho de duchar a los animales durante un tiempo no excesivamente largo antes del sacrificio, con agua a temperatura ambiente en forma de lluvia fina, fue beneficioso al comprobarse que ayudaba a mantener relajados a los animales, evitando por otro lado, que se dieran las condiciones fisiológicas descritas por Sackmann (1988) en los momentos justamente previos al sacrificio, esto es, una temperatura rectal mayor a 39°C, una frecuencia respiratoria mayor a 30/min, una frecuencia cardiaca superior a 100/min y una mayor congestión venosa en orejas, y que estas fueran responsables de pequeñas caídas en la calidad de la carne.

En este sentido, Bak y Wajda (1997), pudieron comprobar como los animales que eran sometidos a un duchado moderado previo al sacrificio experimentaron menores pérdidas de peso en la canal frente a aquellos otros que pasaban directamente al aturdido sin previa ducha.

Dada la importancia de la fase de estabulación previa al sacrificio y su más que demostrada influencia sobre las condiciones de bienestar animal, condicionando en último término la calidad final de la carne, estamos en disposición de establecer una serie de recomendaciones prácticas fundamentadas en los resultados obtenidos en este estudio:

1. Establecer una apropiada planificación de compra de animales para ajustar las condiciones de transporte y sacrificio.
2. Garantizar un reposo mínimo de aproximadamente 4 h en todos los animales, siendo aconsejable unas 6 h.
3. Evitar mezclar lotes de animales, así como toda clase de factores que generen estrés durante el reposo (ruidos, altas temperaturas, insolación directa, etc.).
4. Evitar la combinación de transportes de largo recorrido con estabulación nocturna, que implican ayunos superiores a 24 h antes del sacrificio. En estos casos, es aconsejable administrar agua glucosada a los animales.
5. Aplicar duchas de agua fina antes del sacrificio, a una temperatura entre 15-20 °C durante aproximadamente 10-15 min.

5.2.1.2. Anestesia con CO₂

Introducción y objetivo

La presente experiencia consistió en estudiar de forma precisa las condiciones de trabajo y las características funcionales de la planta de anestesia, mediante estudios de estratificación de las curvas de CO₂ según la profundidad del foso y de su estabilización en el tiempo, a fin de poder establecer posibles desviaciones de la misma que pudiesen afectar al bienestar animal, y que ello se pudiera traducir en posteriores mermas de la calidad, como es el caso de una temperatura ambiente o del CO₂, bajas, la presencia de corrientes de aire, o incluso, el sacrificio de un número y tipo de animales inadecuado para dicha instalación, proponiendo de igual modo, alternativas de diseño o funcionamiento que permitan mejorar las condiciones de aturdimiento.

Diseño experimental

El estudio se realizó sobre el sistema industrial descrito en el apartado IV, consistente en un túnel de anestesiado compacto construido en un foso de 6,5 m de profundidad, modelo Combi 66 (Butina Aps), diseñado en forma de noria giratoria sobre un eje central, con un cadenado del que colgaban 7 cestas con capacidad para 1-3 cerdos de cebo ó una cerda reproductora, y un rendimiento máximo de 440 cerdos/h. La carga de los animales, su paso por el interior del sistema de anestesia, la expulsión e izado para el sangrado, se realizaron tal y como se describen en el apartado IV. La sonda que regulaba la máxima concentración en el fondo del túnel, quedó fijada a 4 m de la superficie, de modo que la máxima concentración de CO₂ se aplicaba básicamente a la cesta localizada en el fondo y no a las de posiciones intermedias (Figura 41).

La velocidad de avance de las cestas entre una posición dada y su posición siguiente era de unos 5,8 s y el giro completo se realizaba en 1,45-1,50 min aproximadamente.

Las medidas de concentración de CO₂ fueron realizadas con un oxímetro de la casa comercial Crison, modelo OXI-92, con electrodo de oxígeno EO90 con membrana amperométrica, al cual se le incorporó un tubo de goma flexible de 5 metros, graduado mediante una marca en cada metro, para la correcta toma de registros según el nivel de profundidad del foso. Dicho aparato presenta un rango de medición de O₂ comprendido entre 0-199%, cuando la saturación oscila entre 0 y 50,0 mg/l, presentando un margen error del 1% y un rango de temperatura de trabajo entre -5 a 50 °C, siendo automática la compensación de dicha temperatura. Los resultados fueron extrapolados teniendo en cuenta al valor de saturación del oxígeno en la atmósfera, mediante la diferencia entre los resultados obtenidos por el oxímetro y el valor de saturación, ajustando el valor final al 100% para transformarlos en valores de CO₂. De este modo, la concentración de CO₂ se estableció mediante la aplicación de la siguiente fórmula;

$$[\%CO_2] = A \times 4,76 - 100$$

donde A es el registro obtenido por el oxímetro y 4,76 es una constante que se obtiene al considerar un 21% de oxígeno, como valor de saturación en la atmósfera. Periódicamente, los registros de CO₂ eran chequeados mediante el registro de O₂, para asegurarnos que dichos registros se ajustaban con los valores existentes en el foso.

El número total de registros realizados para estimar la estabilización y alteración de las curvas de estratificación del CO₂, fue de 380, divididos en 5 sesiones:

Una primera para determinar el grado de estabilización de la curva (36 medidas), con el equipo en reposo y en movimiento (114 medidas). Dos sesiones para estimar alteraciones de la curva en presencia de corrientes de aire en la sala de sacrificio (101 medidas).

Una sesión para estimar la estratificación producida durante el paso de cerdos de cebo (36 medidas) y las alteraciones producidas tras el paso de cerdas adultas reproductoras (38 medidas). Una última sesión para establecer las diferencias producidas en dichas curvas en función a la temperatura ambiente de la sala donde se encontraba el equipo de anestesia (55 medidas).

Resultados

5.2.1.2.1. Características funcionales de la planta de anestesia con CO₂

Con el fin de poder conocer las condiciones de trabajo y las características funcionales del equipo de anestesia donde fueron aturdidos los animales, se procedió al estudio de la estabilización de las curvas de estratificación el CO₂ en diferentes condiciones, así como, de aquellos factores causantes de la alteración de dicha estabilidad, tales como la velocidad del aire en la sala, la temperatura ambiente y del CO₂, y el número y tipo de animales a aturdir, estudiando además el comportamiento de los animales en las diferentes fases del aturrido.

Estabilización de las curvas de estratificación del CO₂

Para determinar que tipo de curva de estratificación de CO₂ se producía en las condiciones normales de trabajo del equipo de anestesia durante el paso de cerdos de cebo (80% de CO₂ en el regulador, 78-80% de CO₂ en medidor, <0,5 m s⁻¹ de velocidad del aire, 20-22°C en la sala de anestesia, 1,3-1,4°C del CO₂ en el punto de salida y 17-18°C en el interior del foso), así como el tiempo que tardaba en estabilizarse dicha curva, se hicieron 36 medidas de CO₂ repartidas en 4 registros por curva, desde el primer metro hasta el cuarto, y espaciadas cada 10 min hasta completar un total de 80 min.

Las medidas se realizaron al final de la sesión de trabajo, durante el descanso del personal y al reanudar la sesión de trabajo (Tabla 19). Así, se observó que las curvas antes del descanso mantenían cierta constancia en sus valores y una vez el sistema de rotación del equipo de anestesia se detenía, la estratificación del CO₂ tendía a desaparecer y al cabo de unos minutos, a saturarse todo el foso con niveles altos de dióxido de carbono.

Tabla 19.
Concentración de CO₂ en el túnel de anestesia (%).

	Fin de sesión			Descanso			Inicio de sesión		
	10:40	10:50	11:00	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50	12:00
1 m	39,04	46,66	45,23	54,95	56,38	67,61	47,14	41,90	45,23
2 m	65,23	67,61	65,23	73,82	74,28	79,33	62,38	60,47	67,14
3 m	78,57	73,33	74,76	77,14	79,52	81,66	68,57	72,38	78,09
4 m	79,52	76,19	80,47	80,96	80,95	83,04	78,09	77,14	79,95

Del mismo modo, la curva de estratificación del CO₂ empezó a estabilizarse a partir de los 20-30 min de reiniciar la sesión de trabajo, registrándose una concentración del 78% de CO₂ en el medidor situado en la parte profunda del foso y una gran similitud en las curvas a partir de entonces, por lo que cabe suponer que tras ese momento, se iniciaron las condiciones normales de trabajo, pues dicha concentración se mantuvo constante en el tiempo.

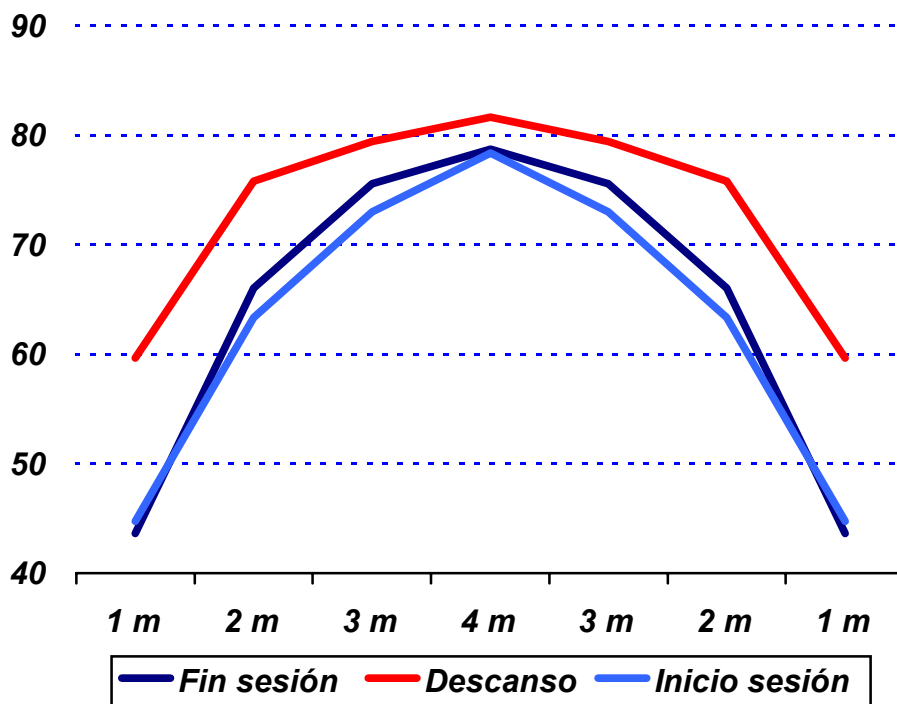
En la Figura 55 se representaron los valores medios de CO₂ de los registros anteriores, obtenidos antes de finalizar la sesión de trabajo, durante el descanso, y al reiniciar el trabajo, con el fin de poder observar la evolución de las curvas de estratificación del CO₂ en condiciones normales.

Como muestra dicha Figura, las curvas de estratificación del CO₂, antes y después del descanso presentan una gran similitud, tanto en su concentración, como en su distribución, y a la vez, se diferencian de la curva de CO₂ durante el descanso, la cual se desplaza hacia valores más altos y la campana que describe es más abierta, por lo que manifiesta cierta tendencia a la saturación del CO₂ en todos sus niveles.

La Tabla 20 muestra la concentración de CO₂ media en los diferentes niveles de profundidad del foso, para los registros realizados en condiciones de reposo y movimiento del sistema de anestesia.

Se comprobó que a pesar de las escasas variaciones en los valores medios de distribución del CO₂ en ambas modalidades de estudio, las mayores diferencias de concentración de CO₂ se localizaron entre el primer y segundo metro, siendo prácticamente constante a partir del segundo.

Figura 55.
Evolución de las curvas de estratificación del CO₂.



Estas diferencias de estratificación en los primeros metros se hicieron más manifiestas cuando las cabinas permanecían estáticas (mayor desviación estándar), que cuando trabajaban a pleno rendimiento. Así pues, la distribución de curvas de CO₂ durante el reposo fue variable, presentando grandes oscilaciones en su distribución y concentración.

Tabla 20.
Concentración de CO₂ en el túnel de anestesia.

	Equipo en reposo		Equipo en movimiento	
	N	M±D	N	M±D
1 m	10	55,08±15,72	19	49,34±7,10
2 m	10	68,81±8,41	19	64,73±6,55
3 m	10	73,99±7,92	19	73,12±6,01
4 m	7	74,42±8,26	11	74,54±4,08
5 m	4	76,30±9,09	5	76,66±5,99

M±D: Media ± desviación típica

En cambio, las curvas de estratificación del CO₂ con el equipo de anestesia en movimiento presentaron una distribución similar en todas ellas, encontrando de igual forma, que entre el primer y segundo metro se producían las máximas diferencias de concentración.

Por este motivo, los estudios posteriores se centraron principalmente en establecer cuales eran las principales fuentes de variación de la concentración del CO₂ en esos metros iniciales, y en que grado y forma podían afectar al correcto funcionamiento del equipo de anestesia, debido sobre todo, a que en esta zona, el animal todavía se encontraba consciente, y en tales condiciones, la probabilidad a que no se produzca un correcto aturdimiento es mayor.

Comportamiento de los animales

En primer lugar, se estudió el comportamiento de los animales en las distintas posiciones del foso (inicial, media, profunda), con el fin de poder establecer alguna relación con las diferentes condiciones de anestesia.

De este modo, los cerdos permanecían unos 15-20 s en la *posición inicial* de anestesia ($\pm 45\%$ CO₂), en condiciones normales de trabajo, y su conducta era normal, sin agresividad ni violencia, y en todo caso, parecían sorprendidos y asustados. Si los cerdos permanecían en ésta posición más tiempo del habitual, esto es, en torno a los 55 s y 1 min, éstos empezaban a ponerse nerviosos, estirar el cuello y abrir la boca. Si se alcanzaban los 1,20-1,30 min y no se hacía girar la noria, los animales caían al suelo de la cesta y convulsionaban durante unos 10-15 s, y al pasar a la posición intermedia ya estaban completamente inconscientes.

Los cerdos llegaban todavía conscientes a la *posición intermedia* ($\pm 65\%$ CO₂), en condiciones normales de trabajo (15-20 s en la posición inicial), pero en pocos segundos manifiestan todos los signos de asfixia, esto es, estiramiento del cuello y apertura de la boca. Tras permanecer unos 15-20 s en ésta posición, caían al suelo de la cesta y convulsionaban. Si los animales entraban directamente a esta posición sin parar en la posición inicial, éstos se ponían muy nerviosos y reaccionaban violentamente estirando el cuello, para caer tambaleándose en unos 30 s.

En la *posición profunda* ($\pm 80\%$ CO₂) y en condiciones normales de trabajo (unos 30-45 s en fases previas), los cerdos llegaban inconscientes a este nivel y no experimentaban complicaciones de especial importancia. Sin embargo, si los animales entraban a esta posición sin tiempo de adaptación en las fases anteriores, se podía comprobar que su comportamiento se volvía muy agresivo y violento, presentando a la vez reacciones de tipo convulsivo, para desplomarse al suelo de la cesta en unos 20 s y seguir convulsionando hasta los 30 s, donde ya quedaban inmóviles.

Alteraciones de la curva de CO₂ por corrientes de aire

Dada la situación concreta del equipo de anestesia en la sala de sacrificio, el cual quedaba en la confluencia de las entradas hacia los corrales, sala de faenado y patio exterior, era relativamente frecuente que se produjesen corrientes de aire que afectaran directamente a dicho equipo, principalmente cuando las puertas hacia corrales y patio exterior permanecían abiertas.

Estas corrientes de aire fueron medidas, a modo orientativo, con un anemómetro portátil de la casa Testoterm, y en situaciones de máxima corriente se llegaron a registrar valores entre 2 y 3,5 m s⁻¹.

En un principio se estudió la influencia de corrientes de aire en la sala, sobre la estratificación del CO₂, cuando el equipo de anestesia se encontraba en reposo, con el fin de poder comprobar en que grado se alteraban las curvas de CO₂ en reposo, con respecto a las condiciones normales. Así, los valores medios y la desviación estándar de los registros obtenidos para este estudio, aparecen en la Tabla 21.

Como se observa, los valores medios de la curva de estratificación del CO₂ cuando las corrientes de aire son mínimas, se asemejan mucho a los valores medios de CO₂ cuando el equipo de anestesia se encontraba en reposo (Tabla 20), esto es, un valor inicial medio y valores altos y constantes a partir del segundo metro.

Tabla 21.
Concentración de CO₂ con el equipo de anestesia en reposo.

	Velocidad del aire			
	2 - 3,5 m s ⁻¹		0 - 0,5 m s ⁻¹	
	N	M±D	N	M±D
1 m	5	63,33±12,98	5	55,69±12,44
2 m	5	69,62±8,57	5	77,09±11,69
3 m	5	72,00±7,77	5	77,13±8,99
4 m	4	70,00±6,74	3	77,93±7,54
5 m	3	70,79±5,68	3	79,88±7,37

M±D: Media ± desviación típica

Estos valores indican una saturación progresiva en todos los niveles del foso de anestesia, alcanzando el valor registrado en el medidor de CO₂ (±78%), de tal modo que, si la cabina permaneciese en estas condiciones algo más que los 30 min que dura el descanso del personal, la saturación abarcaría por completo a todos los niveles (Curva A, Figura 56).

En cambio, cuando la velocidad del aire era alta, estos valores medios experimentaban una considerable modificación, de modo que todos los valores tendían a igualarse hacia la baja, encontrando incluso valores más altos en posiciones intermedias que en profundas. Además, aquí las diferencias entre el primer y segundo metro no son tan manifiestas, como ocurría cuando la velocidad del aire era mínima. Esto viene a sugerir que las corrientes de aire tienden a arrastrar al CO₂ de las posiciones más profundas y llevarlo progresivamente a las posiciones intermedias y superficiales del foso, produciendo una distribución homogénea del CO₂ en menor espacio de tiempo (Curva B, Figura 56).

Por otro lado, se estudió la influencia de corrientes de aire en la sala, sobre la estratificación del CO₂, cuando el equipo de anestesia se encontraba trabajando a pleno rendimiento. Los valores medios y la desviación estándar de los registros obtenidos aparecen en la Tabla 22.

Tabla 22.
Concentración de CO₂ con el equipo de anestesia en movimiento.

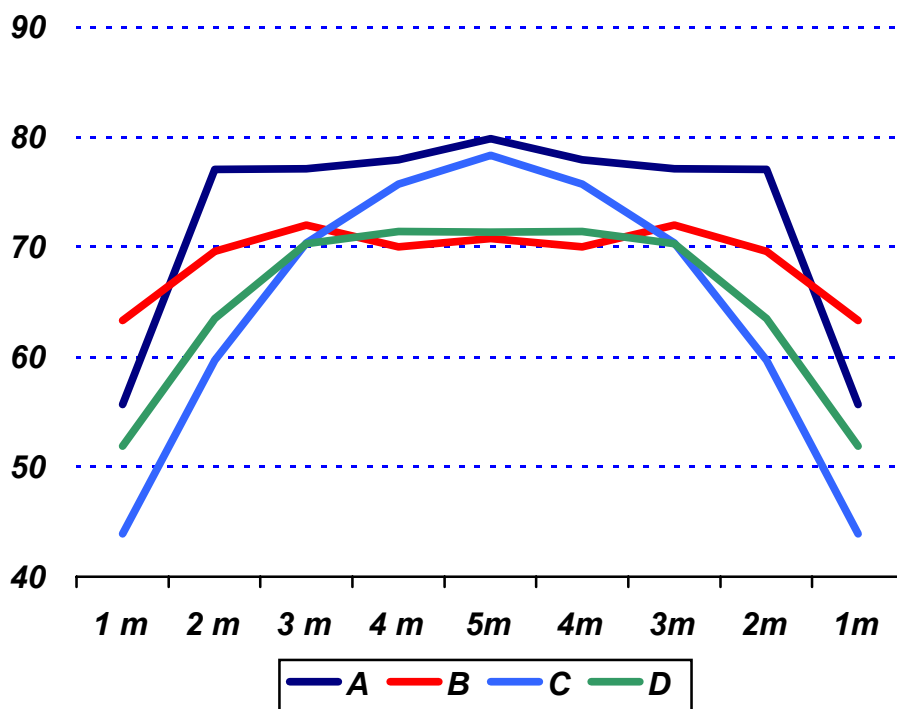
	Velocidad del aire			
	2 - 3,5 m s ⁻¹		0 - 0,5 m s ⁻¹	
	N	M±D	N	M±D
1 m	3	51,90±11,79	10	43,90±4,56
2 m	3	63,49±3,69	10	59,71±7,14
3 m	3	70,28±7,36	10	70,38±4,78
4 m	3	71,39±5,55	9	75,71±3,16
5 m	3	71,33±5,13	4	78,33±5,42

M±D: Media ± desviación típica

La Figura 56 representa las curvas de estratificación del CO₂ cuando el equipo de anestesia permanece en reposo (curva A, cuando la velocidad del aire es mínima, y curva B, cuando la velocidad del aire supera los 2 m s⁻¹), y cuando el equipo de anestesia trabaja a pleno rendimiento (curva C, cuando la velocidad del aire es mínima, y curva D, cuando la velocidad del aire supera los 2 m s⁻¹). Durante el funcionamiento del equipo de anestesia, se comprobó que en ausencia de corrientes de aire las curvas de estratificación del CO₂ eran completamente normales presentando una distribución coherente de los valores medios de concentración de CO₂ en los diferentes niveles del foso, lo cual se correspondió con una curva de estratificación en forma de campana (Curva C, Figura 56).

En cambio, las corrientes de aire alteran dicha distribución, encontrando valores medios de CO₂ prácticamente constantes desde el tercer metro, y por debajo de su valor normal, mientras que los valores de los dos primeros metros son inusualmente altos. Como se ha visto, la presencia de corrientes de aire favorecen el arrastre del CO₂ desde posiciones profundas del foso hacia la superficie, rebajando los valores en el fondo y elevándolos en los primeros metros (Curva D, Figura 56).

Figura 56.
Influencia de la distribución del CO₂ en presencia o ausencia de aire.



A diferencia de lo que sucedía con el equipo en reposo, los valores tienden a mostrar cierta estratificación, como consecuencia de la rotación de las cestas.

En cualquier caso, tanto en B como en C, los valores absolutos en el fondo del foso siguen siendo bajos, y tal y como apunta Troeger (1989), un tiempo excesivo de exposición (180 s) a bajas concentraciones de CO₂ (60%) puede acarrear un empeoramiento de la calidad de la carne debido al estrés, detectable por un mayor desarrollo de catecolaminas en sangre.

Cuando se trabajaba en las condiciones descritas para la curva D, se pudo comprobar que al no conseguir la máxima concentración de CO₂ en la parte profunda del foso (78-80%), los animales manifestaron un mayor grado de excitación antes de entrar en estado de incoordinación, detectándose mayor número de convulsiones tras la anestesia.

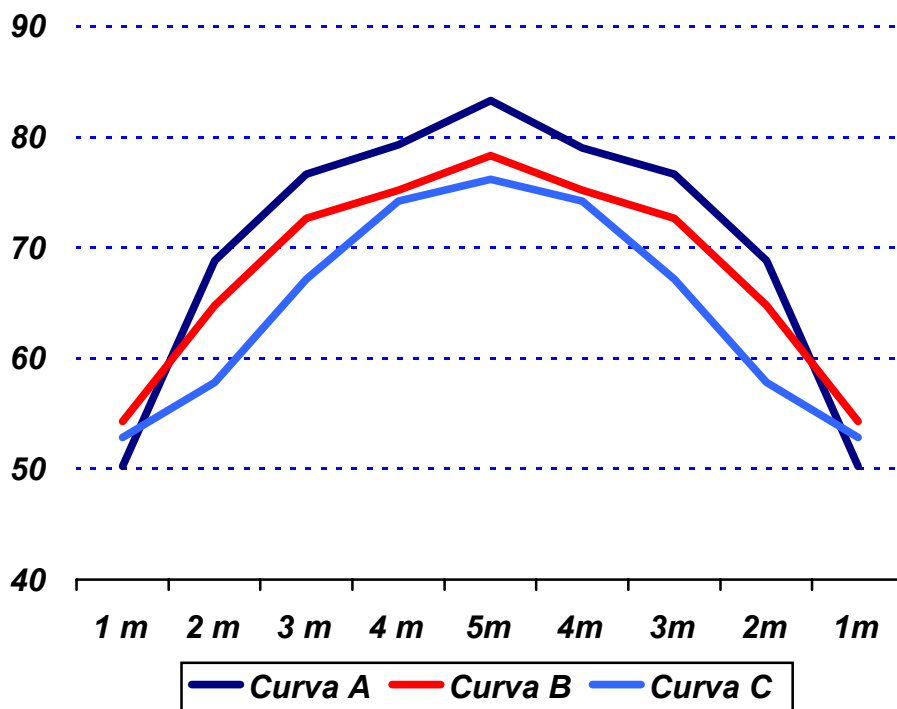
Coincidiendo con estas observaciones, Troeger y Woltersdorf (1991) observaron que conforme descendía la concentración de CO₂ en las cabinas de anestesiado hasta valores del 60%, aumentaba claramente el grado de excitación de los animales (63,6%), principalmente halotano positivos, detectándose posteriormente durante la fase de refrigeración de las canales, una merma de la calidad por aumento de la incidencia PSE y desarrollo de petequias en la musculatura del jamón.

Alteración de la curva de CO₂ según el animal a aturdir

Dado que con relativa frecuencia se produce la entrada y posterior sacrificio de hembras adultas procedentes de granjas destinadas a la reproducción, se procedió al estudio de posibles alteraciones de la concentración de CO₂ en el túnel de anestesia tras el paso de diferentes grupos de hembras reproductoras, con el fin de poder establecer posibles modificaciones de las condiciones de anestesia.

La Figura 57 compara las curvas de estratificación de CO₂ obtenidas en distintas condiciones de trabajo tras el paso de 150 cerdos de cebo de 80-90 kg de peso vivo, en grupos de 2-3 animales por cesta durante 25 min (Curva A), por la cabina de aturdido a una atmósfera del 78-80% de CO₂, y en condiciones óptimas de rotación de cestas (5,8 s), temperatura de la sala (20°C) y velocidad del aire (0,5 m s⁻¹). Tras el paso de hembras adultas de 130-150 kg de peso vivo, en grupos reducidos de 25-30 animales por cesta durante 4-5 min (Curva B), y grupos de 70-80 animales por cesta durante 14-15 min (Curva C), y en condiciones similares a las descritas anteriormente. Se hicieron un total de 74 medidas de CO₂, 36 durante el paso de cerdos de cebo y 38 tras el paso de cerdas adultas.

Figura 57.
Evolución de la concentración de CO₂ según el tipo de animal.



Como se puede observar, la curva de estratificación del CO₂ para cerdos de cebo se desplaza hacia valores más altos, describiendo una campana típica, mientras que las curvas de estratificación del CO₂ para hembras adultas se desplazan hacia valores más bajos, y describen una estratificación anómala.

En este sentido, ninguna de las dos curvas alcanzan un pico máximo en los niveles profundos, y además, la curva C mantiene valores claramente más bajos en los primeros metros del foso, por lo que queda claro que tras el paso de grupos numerosos de animales reproductores, la concentración de CO₂ tiende a reducirse prácticamente en todos los niveles de la cabina de anestesia.

Por este motivo, no es recomendable hacer pasar cerdos de cebo durante los 4-5 min posteriores al paso de grupos masivos de hembras adultas, pues la reducción de los niveles de CO₂ en el foso influyen negativamente en la anestesia de los animales, al detectarse un comportamiento más nervioso e intranquilo en los animales, así como toda una serie de reacciones convulsivas tras ser anestesiados.

El desgaste o pérdida de CO₂ producido tras el paso de las hembras podría tener su explicación en la mayor capacidad pulmonar de éstas, y por consiguiente, mayor consumo de aire, que junto con la propia pérdida de CO₂ por la rotación del equipo de anestesia, hacen que el medidor se sitúe tras el paso de las hembras en torno a un 76-77% de CO₂, dependiendo del número de hembras reproductoras que pasen.

Así pues, el desgaste de CO₂ producido tras el paso de hembras reproductoras sólo es importante cuando se trata de grupos de 70-80 animales como mínimo, pues los grupos de 20-30 o menos animales, no alteran de forma significativa la curva de CO₂, manteniéndola prácticamente constante con los valores previos al paso de las hembras.

Por este motivo, el hecho de hacer pasar hembras adultas junto a cerdos de cebo, normalmente en la proporción 1:1, a pesar de no modificar en exceso la curva de estratificación del CO₂, no es del todo recomendable, pues como se ha podido comprobar, si dicho proceso se mantiene en el tiempo, la concentración de CO₂ tendería a disminuir en los diferentes niveles del foso, y ello traería consigo deficiencias en la anestesia de los cerdos de cebo que acompañan a las hembras adultas.

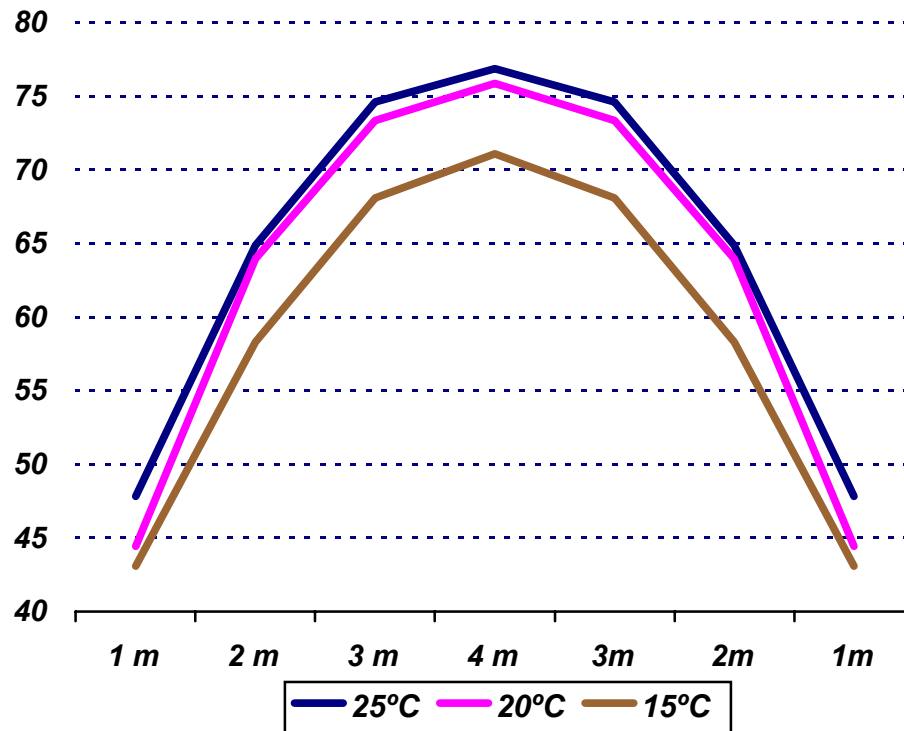
Alteración de la estratificación del CO₂ según la temperatura de la sala

Por último, se procedió al estudio de las variaciones en la estratificación del CO₂ en el túnel de anestesia que estuvieran directamente relacionadas con la temperatura de la sala en el momento del sacrificio. De este modo se hicieron tres sesiones de trabajo, desde las 9:00 am hasta las 16:00 pm, para registrar un total de 55 medidas de CO₂, en las condiciones de trabajo descritas anteriormente (Figura 58).

Se pudo comprobar como por debajo de 20°C en la sala, se reducían los valores de concentración de CO₂ en todos los niveles, especialmente en la parte profunda del túnel, donde apenas se superó el 70%.

Por su parte, los registros de CO₂ a partir de 20°C fueron mayores a los anteriores, con pocas diferencias en la distribución de ambas curvas, manifestando un comportamiento más acorde con la distribución del CO₂ en condiciones normales de trabajo.

Figura 58.
Concentraciones medias de CO₂ según la temperatura de la sala.



La explicación a la distribución de las curvas de CO₂ en función a la temperatura ambiental, debemos buscarla en la estrecha relación experimentada por la temperatura del CO₂ en su punto de entrada al interior del túnel de anestesia y la temperatura de la sala (Tabla 23).

Tabla 23.
Evolución de la temperatura del CO₂ según la temperatura ambiental.

Temperaturas (°C)	Temperaturas (°C)		
	10	15	20
T ^a ambiental	10	15	20
T ^a del CO ₂	0,8	1,1	1,4

En este sentido, la temperatura ambiente parece influir directamente sobre la temperatura de salida del gas, el cual, conforme se enfría, se expande con más dificultad en los diferentes niveles del foso, impidiendo que la concentración de CO₂ se eleve.

De esta manera, la posibilidad de poder controlar una adecuada temperatura de entrada del CO₂ en el interior del foso de anestesia, permitiría alcanzar concentraciones de CO₂ apropiados para cada uno de los niveles, garantizando el adecuado y correcto aturdimiento de los animales, y evitando por otro lado, las manifestaciones propias de una incorrecta insensibilización, como son los signos de estrés por asfixia que se producen principalmente en los primeros metros de la noria.

En este sentido, cabe decir que cuanto más baja era la concentración de CO₂ en los primeros metros, mejor tolerancia a la anestesia presentaba los animales, observándose a su vez, una importante reducción de reacciones convulsivas durante la fase de izado y degüello posteriores.

En conclusión, dadas las características tan peculiares que presentan éstas cabinas para el aturdimiento de los animales, y dada la gran cantidad de factores que pueden alterar su correcto funcionamiento, se hace preciso adoptar todas aquellas medidas encaminadas en asegurar una correcta concentración de CO₂ en todos los niveles del foso, y en definitiva, un aturdimiento que asegure el bienestar animal.

Entre las posibles medidas a adoptar, podríamos proponer por un lado, el aturdimiento separado entre cerdos de cebo y animales adultos reproductores, así como el hacer girar la noria durante unos 4-5 min después del paso de los animales adultos, con el fin de que se puedan restaurar las condiciones previas al paso de dichos animales.

Por otro lado, sería conveniente garantizar unas condiciones óptimas en la sala de sacrificio, como son la reducción de puertas y accesos a dicha sala con el fin de evitar fuertes corrientes de aire, mantener una temperatura ambiente igual o superior a 20 °C, y en su defecto, cuando la temperatura ambiente fuese muy baja, favorecer el calentamiento del gas de anestesia en el punto de entrada al túnel, lo suficiente como para favorecer su correcta distribución por el foso.

5.2.1.2.2. Influencia de la anestesia sobre la calidad de la carne

Con el fin de establecer la influencia que presentaban las reacciones derivadas de la anestesia con CO₂ sobre la calidad final de la carne, se estudió un lote al azar de 78 animales, el cual fue sacrificado en dos fases; 37 animales antes de finalizar la sesión de trabajo antes del descanso del personal y 41 animales justo después de reiniciar el trabajo.

De este modo, se identificaron los animales que desarrollaron reacciones de tipo convulsivo a la salida de la cabina de anestesia, durante las fases de izado y degüello, tanto antes, como después del descanso del personal, al ser este un signo frecuente en animales sometidos a una anestesia inadecuada. Por otro lado, los cerdos que no manifestaron reacción convulsiva alguna se identificaron como el resultado de haber alcanzado un grado de anestesia apropiada para el posterior degüello.

Sobre todos los animales estudiados se registraron las medidas de pH y CE a 45 min, 2 h y 24 h, y se estableció la calidad de la carne siguiendo los criterios de clasificación establecidos en el punto 5.1.

Las condiciones de trabajo del equipo de anestesia fueron las mismas en ambos casos; 80-3% de CO₂ en el medidor, al final de la sesión de trabajo, y 80-1% al reinicio, 21°C y 0,25-0,50 m s⁻¹ de velocidad del aire en el interior de la sala, 5,8 s de rotación entre cestas, 2 min de duración del proceso de anestesia y menos de 20 s antes de ser degollados los animales.

En la Tabla 24 se recogen los valores medios y la desviación estándar de los indicadores de calidad estudiados en cerdos que presentaron o no reacciones convulsivas tras la anestesia, la proporción de calidad de carne, y la estimación de petequias y hemorragias internas en la zona de la articulación coxofemoral del miembro que se utilizó para ser izado el animal.

Como se puede observar, antes de que la cabina se detuviese por el descanso del personal, la incidencia de animales que manifiestan reacciones de tipo convulsivo, principalmente en la musculatura de miembros pélvicos, fue notablemente inferior a los momentos iniciales tras la reanudación del trabajo, donde se observa que los animales manifestaron en su gran mayoría, este tipo de reacciones.

Esto viene a corroborar, como ya se ha dicho, que tras un tiempo más o menos largo de funcionamiento de las cabinas, al final de la sesión de trabajo las condiciones de estratificación del CO₂ alcanzan un equilibrio que permiten una correcta anestesia de los animales. Por el contrario, en los momentos iniciales tras la reanudación de la sesión de trabajo, no ha dado tiempo para recuperar las condiciones óptimas de estratificación, las cuales desaparecieron durante la parada de la máquina.

Tabla 24.
Indicadores de calidad en la carne tras la anestesia con CO₂.

	Tipo de reacción tras la anestesia		P
	Convulsión	Relajación	
Casos	40	38	
Antes de descanso	7	30	
Después de descanso	33	8	
pH₄₅	6,36±0,19 ^a	6,43±0,21 ^a	0,1390
pH₂	5,78±0,24 ^a	5,89±0,25 ^a	0,0860
pH₂₄	5,56±0,21 ^a	5,57±0,16 ^a	0,7435
CE₄₅	4,51±0,95 ^a	4,14±0,78 ^a	0,0791
CE₂	4,72±1,83 ^a	3,94±1,20 ^b	0,0429
CE₂₄	6,99±1,60 ^a	5,67±1,63 ^b	0,0011
PSE (%)	8,3	2,7	
Normal (%)	72,2	89,2	
DFD (%)	2,8	2,7	
Hemorragias	+++	+	
Petequias	++	-	

Medidas con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P<0,05)

P: Probabilidad estadística

Por otro lado, se observan como los animales que experimentaron reacciones convulsivas tras la anestesia presentaron una CE a las 2 y 24 h estadísticamente mayor (P<0,05) que los animales que mostraron síntomas de relajación, y un pH, aunque no estadísticamente diferente, más bajo en todos los registros estudiados. Estos indicadores dieron como resultado una mayor reducción de carnes normales en los animales que convulsionaron, en gran parte debido al desarrollo de carnes exudativas, pues las carnes mPSE alcanzaron unos valores muy por encima de lo habitual (16,7%).

Por su parte, los animales relajados tras la anestesia dieron como resultado una proporción de carnes normales rondando el 90%, con una incidencia mínima de carnes de baja calidad. Además, tras el despiece fueron inspeccionados los jamones, observando que la gran mayoría de los animales que experimentaron reacciones de tipo convulsivo desarrollaron numerosas petequias y hemorragias localizadas a nivel de la articulación coxofemoral, así como, la rotura de los ligamentos de unión en dicha articulación, lo cual hizo imposible destinar esas piezas comerciales hacia la obtención de embutidos curados de primera calidad.

Coincidiendo con estos resultados, Haumann (1989) encontró un 5% de piezas ensangrentadas procedentes de canales de cerdos que experimentaron espasmos musculares tras la anestesia, y que fueron aturridos en plantas compactas de anestesia, y hasta un 20%, cuando usaba túneles ovales. El hecho de que los animales que presentaron estas violentas reacciones convulsivas, presentaran mayores índices de carne PSE, así como, una elevada presencia de hemorragias y petequias, induce a pensar que dicho fenómeno podría estar relacionado con un incremento de la actividad metabólica *post mortem*, semejante al descrito por Velarde *et al.*, (1999) durante la fase clónica de estimulación de la fibra muscular tras aplicar electronarcosis, la cual determinaba una aceleración del metabolismo *post mortem*, y en definitiva, una mayor desnaturalización proteica y una mayor exudación de líquidos.

Por otra parte, Troeger y Woltersdorf (1991) consideran que la presencia de reacciones violentas tras la fase convulsiva de la anestesia con CO₂ presenta un gran condicionante genético, al observar una mayor incidencia de éstas en cerdos halotano positivo frente a cerdos halotano negativo, y que, en cualquier caso, pueden ser reducidas mediante la aplicación de concentraciones de CO₂ del orden del 80-90%, paliando la presencia de fracturas óseas, pero en ningún caso, suficientes para prevenir el desarrollo de carnes PSE.

5.2.1.2.3. Estudio comparado entre aturrido eléctrico y CO₂

Por otro lado, se realizó un estudio comparado entre el sistema de aturdimiento con dióxido de carbono y el sistema de electronarcosis sólo-cabeza consistente en aplicar una descarga de 240 V durante 4-5 s, mediante unas pinzas de la casa comercial Suteca (modelo EE2V+PIN-P), aplicadas sobre la región inferior de la oreja de cada lado de la cabeza de los animales, con el fin de estimar su repercusión en la calidad final de la carne.

Para ello se utilizaron 423 animales pertenecientes a 6 lotes diferentes escogidos al azar, que fueron sacrificados ordenadamente en unos 90 min, de modo que los tres primeros lotes (225 animales) fueron aturridos con CO₂, y a continuación, se insensibilizaron dos lotes (162 animales) mediante electronarcosis, dejando el último lote (36 animales) para sacrificar los 19 primeros mediante electronarcosis, y los 19 restante con dióxido de carbono. De este modo, todos los animales estuvieron sometidos a las mismas condiciones de estabulación y presacrificio, ajustándose las características del equipo de anestesia a las ya descritas para las condiciones normales. En todos los animales se recogieron las medidas de pH a 45 min, 8 y 24 h, así como la CE a 2 h, siendo clasificada la carne según los criterios de clasificación establecidos en el punto 5.1.

Así, como se observa en la Tabla 25, el estudio comparado de los valores medios y la desviación estándar de la CE y el pH, en las dos modalidades de insensibilización estudiadas, así como, la proporción de carnes normales y de baja calidad, presentó los siguientes valores.

Tabla 25.
Indicadores de calidad en la carne según la anestesia.

	Tipo de anestesia		P
	CO ₂	Electronarcosis	
Casos	225	198	
pH₄₅	6,47±0,27 ^a	6,44±0,32 ^a	0,7548
pH₈	5,73±0,23 ^b	5,84±0,23 ^a	0,0376
pH₂₄	5,68±0,25 ^a	5,58±0,18 ^b	0,0000
CE₂	4,77±2,09 ^b	6,07±3,26 ^a	0,0000
PSE (%)	7,2	22,0	
Normal (%)	88,8	76,7	
DFD (%)	4,0	1,3	

Medidas con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P<0,05)

P: Probabilidad estadística

Como se puede observar, a excepción del pH a 45 min, el resto de indicadores de pH mostraron diferencias significativas (P<0,05) entre los sistemas de anestesia por electronarcosis y CO₂, y como a excepción de la medida a 8 h, el pH presentó unos valores absolutos mayores cuando los animales eran anestesiados con dióxido de carbono. Por su parte debemos destacar las diferencias encontradas en los valores medios de CE₂, las cuales fueron estadísticamente mayores (P<0,05) cuando los animales eran aturridos mediante electronarcosis.

Esta tendencia en los indicadores de calidad se corresponde con un incremento importante de carnes PSE (22%), así como, con una incidencia más bien escasa de carnes DFD (1,3%), para la modalidad de electronarcosis, frente al 7,2% de carnes PSE y 4,0% de carnes DFD encontrados mediante el sistema de aturrido con CO₂.

A la vista de los resultados, el uso de la electronarcosis como sistema de aturdimiento previo al sacrificio de los animales, condujo a una mayor incidencia de carnes PSE con respecto a la técnica habitualmente utilizada del CO₂. Estos datos coinciden con la gran mayoría de autores consultados. Así, podemos mencionar a Larsen (1983), el cual encontró una incidencia realmente baja de carnes PSE cuando utilizó sistemas de anestesia mediante plantas compactas de CO₂, frente al uso de electronarcosis o de plantas ovales de anestesia con CO₂, a Haumann (1989), quien encontró una incidencia de carnes PSE tres veces más alta con el electroshock que con la anestesia con dióxido de carbono, o Zweigbergk *et al.* (1989), quienes encontraron una incidencia PSE del 1,7% al usar dióxido de carbono, frente a un 6,9% al usar pinzas eléctricas y restrainer.

Igualmente, García (1992) obtuvo un porcentaje de carnes PSE del 12% en el músculo SM cuando utilizaba anestesia con CO₂, frente al 43% cuando el sistema de aturrido era eléctrico. Barton-Gade (1993), también obtuvo peores índices de calidad mediante electronarcosis (10-19%) que cuando usaba CO₂ (2-6%), y Velarde *et al.* (1999) encontraron una incidencia de carnes PSE en mataderos equipados con sistemas de CO₂ del orden del 3,8-13,2% frente al 8,8-18,8% encontrado en mataderos equipados con electronarcosis.

Velarde *et al.* (2001) realizaron un estudio con animales de genotipo conocido que fueron aturridos con CO₂, y encontraron una incidencia de carnes PSE en cerdos portadores del gen halotano (8%), superior que en aquellos libres del gen (1,1%). Sin embargo, cuando los animales eran aturridos eléctricamente, Fabregas *et al.* (2001) observaron que el efecto del paso de la corriente en la incidencia PSE era tan grande que el efecto del genotipo halotano positivo sobre la calidad final de la carne quedaba totalmente enmascarada.

Por el contrario, Gispert *et al.* (2000) al estudiar la calidad de la carne obtenida en cinco mataderos industriales, encontraron que la mayor incidencia PSE en la canal se obtuvo precisamente en el único matadero que anestesiaba con CO₂ (14,9%) frente a porcentajes del 4,7 al 8,1% encontrados en el resto de mataderos que utilizaban la electronarcosis a diferente voltaje. No obstante, los autores puntualizan que la alta proporción del gen halotano (54% gen n) encontrado en los animales sacrificados en el primer matadero frente al resto de mataderos (8-33% gen n), pudo condicionar en gran medida la calidad final en la carne, independientemente del resto de factores ambientales implicados.

Nuestros resultados tampoco coinciden con los obtenidos por Garrido *et al.* (1994a) quienes encontraron una incidencia nula de carnes PSE y entre el 5-15% de carnes DFD, en dos mataderos que utilizaban electronarcosis, frente a un 1% de carnes PSE y un 8% de carnes DFD encontrado en un tercer matadero equipado con CO₂. Según los autores, la baja incidencia de carnes PSE usando la electronarcosis, podría tener su explicación en el bajo voltaje utilizado (110 V), pues como pudieron comprobar Gispert *et al.* (2000) conforme aumentaba el voltaje de la corriente aplicada sobre los animales, se observaba un incremento significativo del defecto PSE (con 250 V un 3%, con 500 V un 4,7% y con 700 V entre un 5-8,1%).

En cualquier caso, el efecto negativo de la electronarcosis sobre la calidad de la carne tiene su explicación, según Velarde *et al.* (1999) en el mayor grado de la actividad muscular durante la fase clónica de la electroestimulación. Esta mayor electroestimulación de la fibra muscular conduce hacia una aceleración del metabolismo *post mortem*, estrechamente relacionada con la duración e intensidad de aplicación, provocando en último caso, una mayor desnaturalización proteica y en consecuencia una mayor exudación de líquidos.

Como medida preventiva a utilizar en aquellos mataderos que trabajan con sistemas eléctricos de aturdimiento, y con el fin de que no se disparen los índices de carnes PSE, Zweigbergk *et al.* (1989) proponen recortar el tiempo de escaldado posterior de los animales, pues con ello observaron una reducción del 17 al 1,5% en la incidencia PSE producida al usar electronarcosis, si bien, al acortar el tiempo de escaldado se dificulta el pelado posterior de los animales (Prändl *et al.*, 1994), viéndose mermada la aptitud tecnológica de la canal.

5.2.2. Fase de sacrificio y faenado

5.2.2.1. Predicción de carnes de baja calidad mediante apreciación de la rigidez muscular en una fase temprana del sacrificio

Introducción y objetivos

El presente ensayo tiene por objeto establecer la posible relación entre la calidad final de la canal y la apreciación subjetiva de diferentes grados de rigidez muscular de aparición temprana, relativamente frecuentes en animales que llegan al sacrificio tras haber sido sometidos a diversos factores desencadenantes de estrés y fatiga.

Desde mediados de la década de los 60 es sabido que la medida del *rigor mortis* está relacionada con la calidad final de la carne (Cassens, 2000). La aparición temprana de rigidez muscular tras la muerte de los animales fue relacionada por primera vez por Erdös (1943), con la desaparición progresiva de la reserva de ATP muscular y la posterior formación de enlaces cruzados permanentes actina-miosina.

Poco después de la muerte del animal, la resíntesis del ATP se mantiene por instauración del metabolismo anaerobio, permitiendo la degradación de la reserva energética de glucógeno muscular y la posterior fosforilización del ADP a ATP, necesario para romper los enlaces de actomiosina formados hasta que se agote por completo, momento en el cual, se dificulta la relajación muscular al no poder ser renovado el ATP por falta de la fosfocreatina necesaria para dicha fosforilización.

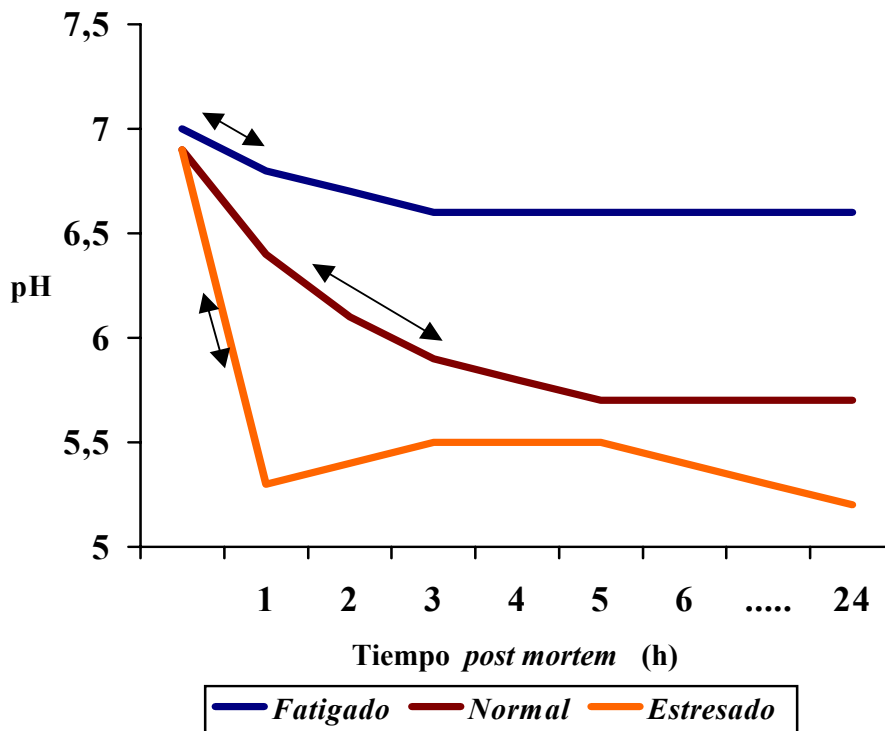
Con el desarrollo de la rigidez muscular aparecen una serie de cambios físicos asociados a un acortamiento y un aumento de tensión, como son la pérdida de elasticidad y extensibilidad en la fibra muscular, fácilmente detectables.

Ésta pérdida de la elasticidad se presenta como un buen indicador subjetivo de la calidad de estas carnes (Forrest *et al.*, 1979), y podría ser utilizada como un sistema de clasificación temprana de canales cuya evolución posterior más probable será desarrollar carnes de deficiente calidad (Davis *et al.*, 1978).

La presentación de rigidez muscular varía de un animal a otro, e incluso en un mismo animal, de un músculo a otro, en función a las reservas de glucógeno (Ordoñez *et al.*, 1998), de tal modo que, conforme los animales llegan más exhaustos al sacrificio, y por tanto, con menos glucógeno, antes tendrán que utilizar la vía metabólica de la fosforilización del ADP, y antes podrán aparecer los signos externos del *rigor mortis*. Según Forrest *et al.* (1979), los cambios experimentados por los músculos de aquellos animales que han desarrollado un *rigor mortis* muy rápido se pueden interpretar de forma objetiva mediante la evolución de su pH (Figura 59).

Estos autores comprobaron que en algunos casos se producía una mínima caída del pH *post mortem* como consecuencia de que el glucógeno muscular era limitado (curva de pH característica de cerdos fatigados, con instauración rápida del *rigor mortis*). En otros casos, la velocidad de caída del pH era mayor al de condiciones normales (curva de pH característica de cerdos estresados, con instauración rápida del *rigor mortis*), bien porque el aporte energético era rápidamente metabolizado, o porque el bajo pH inhibía importantes reacciones químicas del metabolismo energético. En contraste, la curva de pH característica de cerdos normales, experimentaba un desarrollo del *rigor mortis* más tardío que los casos anteriores. Según Offer (1991), las carnes de baja calidad presentan un rango de caída de pH de 0,1 unidades/min, en los casos extremos, y un rango de caída de pH de 0,02 unidades/min, en los casos moderados, iniciándose el rigor en 15 ó 45 min, según los casos, mientras que las carnes normales presentan un rango de caída de pH de 0,01 unidades/min y un inicio del rigor en torno a 150 min.

Figura 59.

Evolución del pH de los músculos en estado de rigidez *post mortem*.↔ ; Instauración aproximada del *rigor mortis* en los diferentes tipos de músculo.

Por tanto, el nivel de glucógeno en el momento del sacrificio va a condicionar el posterior grado de caída del pH (Przybylski *et al.*, 1994), especialmente en animales sometidos a un fuerte estrés o prolongados periodos de ayuno presacrificio (Lawrie, 1998), y ello a su vez, la aparición temprana del *rigor mortis* y de los defectos posteriores en la carne, como son las carnes PSE y DFD.

Laack *et al.* (1995), afirman que es posible detectar de forma precoz la calidad de la carne de porcino, referida a casos extremos de condición PSE, dado que en estos casos es frecuente detectar una rigidez muscular manifiesta y un bajo pH minutos después del sangrado.

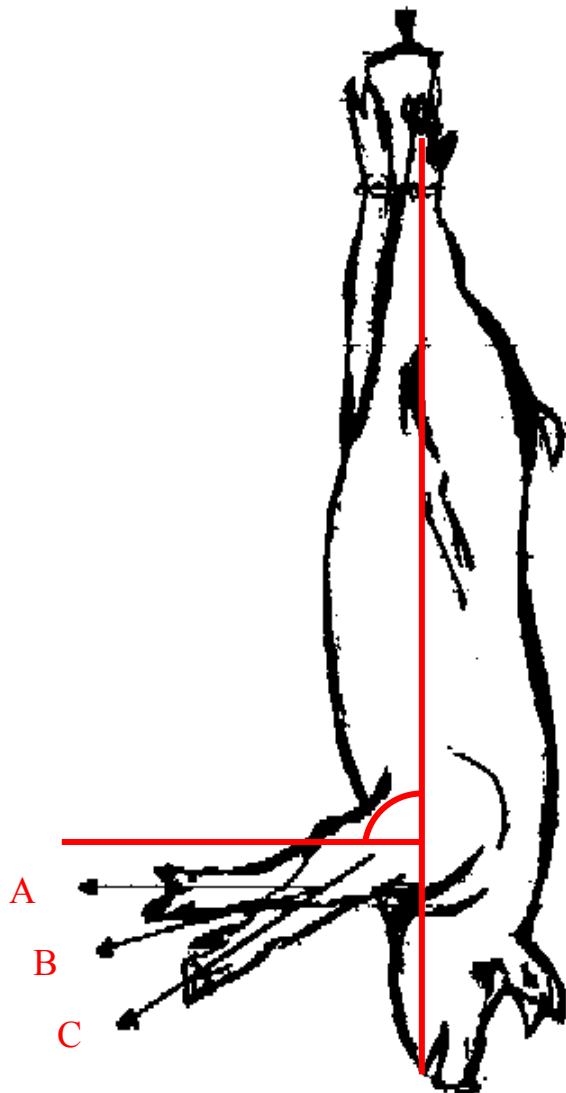
Eikelenboom *et al.* (1974) y Davis *et al.* (1978), sugieren que la detección temprana de rigidez muscular se acompañe con medidas de pH para estimar carnes PSE y DFD, siendo a juicio de Kauffman *et al.* (1993) la medida del pH₄₅ la más apropiada para predecir la calidad final de la carne. Garrido y Honikel (1996), apuntan que es conveniente utilizar de forma combinada el valor de pH₄₅ con el de CE₂, o incluso otros métodos, como la capacidad de retención de agua, para confirmar con exactitud la pérdida de calidad de la carne en las primeras horas *post mortem*.

Por este motivo, Batlle *et al.* (2000), sugieren la detección a las 2 h *post mortem* de metabolitos derivados de la degradación del ATP, principalmente inosin-5'-monofosfato (IMP) e inosina, al considerar que la degradación de adenosin nucleótidos hacia estos compuestos, ocurre mucho más rápido en los músculos PSE y DFD que en los normales, siendo a juicio de Greaser (1986), el desencadenante de la rápida instauración del *rigor mortis* tras el sacrificio de los animales. En cualquier caso, Garrido *et al.* (1995) recomiendan detectar la calidad de la carne de cerdo tan pronto como sea posible después del sacrificio de los animales, pues desde un punto de vista industrial, resulta fundamental poder hacer un uso apropiado de las carnes PSE y DFD detectadas, a fin de evitar las pérdidas económicas derivadas de su implantación.

Diseño experimental

Se seleccionaron de forma completamente aleatoria, y en 5 sesiones de trabajo, un total de 122 animales a la salida de la cuba de escalde, cuya rigidez muscular se había desarrollado de forma muy acelerada, las cuales fueron identificadas a la salida de la cabina del apurado final y después de ser pesadas, siendo clasificadas según diferentes grados subjetivos de rigidez muscular, estrechamente relacionados con la resistencia a la flexión de la articulación cúbito-radio humeral (Figura 60).

Figura 60.
Diferentes grados subjetivos de rigidez muscular.
A; rigidez máxima B; rigidez media C; rigidez mínima o nula



El grado de rigidez muscular se estableció siguiendo la metodología descrita por Driessen y Geers (2000), mediante el ángulo formado entre el miembro torácico de la canal y una línea perpendicular que iba desde la sujeción por el tendón del miembro pélvico hasta el hocico del animal (Figura 60).

Se diferenciaron aquellos animales que a la salida de la cuba de escalde (15 min *post mortem*) presentaron los miembros torácicos totalmente rígidos y horizontales (rigidez muy temprana) de aquellos otros cuya rigidez de miembros presentaba una ligera inclinación hacia el suelo y haber descendido por efecto de la gravedad (rigidez más tardía). A su vez, se clasificó en tres categorías el grado de rigidez muscular (Davis *et al.*, 1978), según la posición del miembro torácico.

Estas categorías fueron: A; *rigidez máxima*, cuando el miembro estaba muy rígido, ofrecía mucha resistencia a ser flexionado y permanecía paralelo al suelo formando un ángulo inferior a 110° respecto a la línea descrita por Driessen y Geers (2000). B; *rigidez media*, cuando el miembro estaba bastante rígido, ofrecía resistencia a ser flexionado y permanecía ligeramente inclinado hacia abajo formando un ángulo entre 111° y 120°. C; *rigidez mínima o nula*, cuando el miembro anterior estaba poco o nada rígido, ofrecía poca o nula resistencia a ser flexionado y permanecía orientado hacia el suelo formando un ángulo superior a 121°.

Como parámetros adicionales de la calidad de la canal, se tomaron las medidas de pH₈, durante el mantenimiento refrigerado de las canales, y CE₂, tras el oreo rápido, y la calidad se clasificó según los criterios establecidos en el punto 5.1.

Resultados

Calidad de las canales que desarrollan rigidez muscular temprana

La Tabla 26 muestra de forma comparada, los valores medios y la desviación estándar de CE₂ y pH₈, así como la proporción de carnes normales y de baja calidad, en las distintas categorías de rigidez muscular estudiadas.

Tabla 26.
Indicadores de calidad según el estado de rigidez muscular.

	Grado de rigidez			P
	Máxima	Media	Mínima	
Casos	38	43	41	
CE₂	10,11±4,63 ^a	7,09±3,55 ^b	4,70±1,24 ^c	0,0000
pH₈	5,94±0,39 ^a	5,81±0,25 ^{ab}	5,74±0,27 ^b	0,0222
PSE (%)	52,6	33,3	3,2	
Normal (%)	15,8	23,3	83,9	
DFD (%)	21,1	6,7	3,2	

Medidas con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P<0,05)

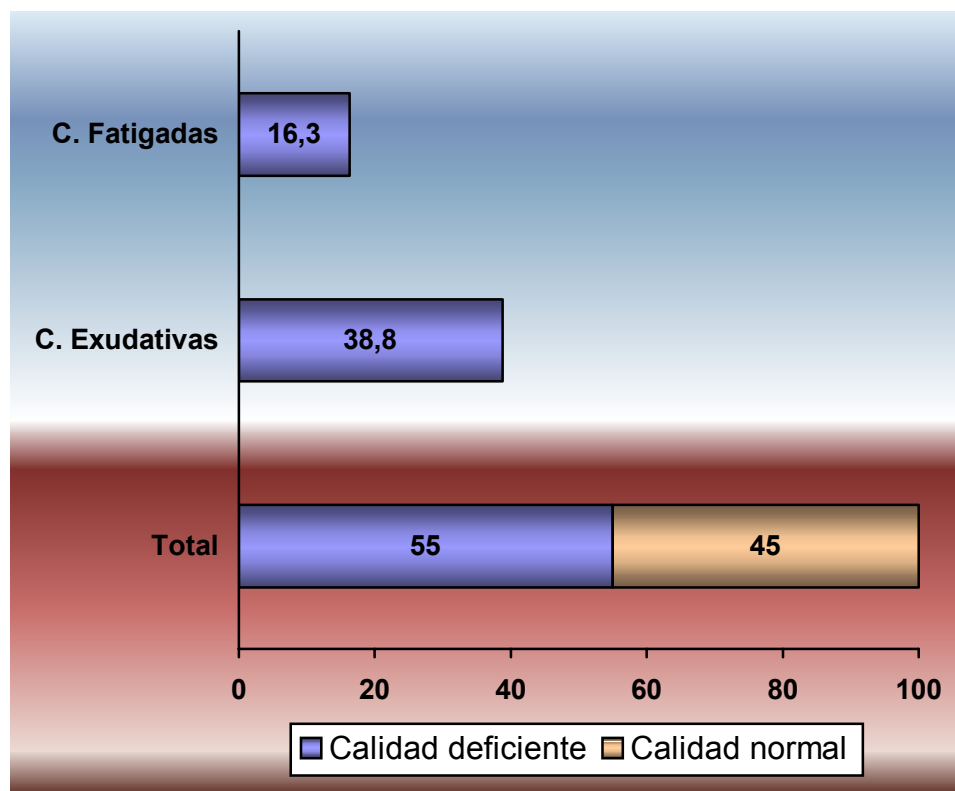
P: Probabilidad estadística

Como se puede comprobar, se detectaron diferencias significativas (P<0,05) en los valores medios de CE₂ para las tres categorías de rigidez muscular estudiadas, y entre las categorías de rigidez máxima y mínima, en el caso del pH₈, detectándose un incremento proporcional en los valores medios absolutos de CE y pH, conforme el grado de rigidez muscular tras el sacrificio, era más intenso. Las diferencias estadísticamente significativas encontradas entre los valores medios de CE₂, determinaron que en las categorías de rigidez máxima y media se concentrasen la mayoría de carnes PSE, y fuesen poco significativos para éste defecto, la categoría de rigidez mínima.

En el caso del pH₈, las diferencias son igualmente manifiestas entre las categorías de rigidez extrema (P<0,05), presentándose la mayor concentración de carnes DFD en la categoría de máxima rigidez (21,1%). De estos resultados se desprende la alta capacidad de discriminar carnes de baja calidad tecnológica mediante la apreciación subjetiva del *rigor mortis* tras el sacrificio del animal (55% de carnes de baja calidad frente a un 45% de carnes normales (Figura 61).

Como se puede observar en la Figura 61, fue más eficaz la discriminación de carnes exudativas (un 38,8%, de las que el 26,3% fueron PSE), que la de carnes fatigadas, con un 16,3% (8,8% DFD).

Figura 61.
Discriminación de carnes normales y de baja calidad en canales que desarrollaron rigidez muscular temprana.



Al englobar los grupos de rigidez máxima y media fue posible discriminar hasta un 85,9% de carnes PSE y un 27,8% de carnes DFD. Por el contrario, el grupo de rigor mínimo experimentó tan sólo el 3,2% de las carnes PSE y DFD.

Este considerable incremento de carnes PSE en canales que desarrollaron una rigidez muscular anormalmente rápida e intensa tras el sacrificio, ya fue observado por Bendall y Wismer-Pederson (1962) y Legras (1980), entre otros. De igual modo, Barton-Gade (1979), pudo observar un incremento considerable de carnes de baja calidad en el músculo SM cuando éste entraba en estado de *rigor mortis* antes de 45 min *post mortem*, presentando un $\text{pH}_{45} < 5,9$ y una fuerte correlación ($r: 0,7$) entre la medida subjetiva del rigor y el pH.

Estos resultados también coinciden con los obtenidos por Sayre *et al.* (1964), quienes utilizaron un instrumento desarrollado por Briskey *et al.* (1962) para tal fin. Según sus observaciones, cuando el *rigor mortis* ocurría de forma precoz a un pH inferior a 5,9 y una temperatura corporal en torno a 35°C, el resultado era la formación de carnes PSE.

Barton-Gade (1980), utilizando el rigorómetro IVO desarrollado por Sybesma (1966), sobre el músculo SM, pudo comprobar como los mayores valores de rigidez detectados en dicho músculo (8,8 y 11,1 mm) se correspondían con el desarrollo de carnes extremadamente PSE y DFD, respectivamente, y que los valores mínimos de rigidez (6,2 y 5,9 mm) se correspondían con el desarrollo de carnes normales.

Del mismo modo, Kauffman *et al.* (1993), utilizando dos aparatos de medida de la rigidez muscular a los 45 min tras el sacrificio, el rigorómetro IVO (Sybesma, 1966) aplicado sobre la cara media del músculo SM, y el medidor de rigidez torácica lumbar TLR (Davis *et al.*, 1978), comprobaron como los músculos que desarrollaban una rigidez manifiesta tras el sacrificio, presentaban valores altos en las medidas de ambos aparatos (11-12 mm en IVO, y 2,6 en TLR), próximos a los valores máximos de rigidez (valor TLR máximo igual a 3), sin experimentar diferencias significativas ($P > 0,05$) entre carnes PSE y DFD, las cuales experimentaron un importante incremento en dicho músculo.

Diversos autores (Barton-Gade 1977, 1984; Troeger y Woltersdorf, 1990; Warriss *et al.*, 1994 y van der Wal *et al.*, 1997) han corroborado un aumento de la actividad muscular tras la aplicación de estimulación eléctrica sobre las canales que favorecía un rápido desarrollo del *rigor mortis*, una bajada del valor de pH a 45 min y una pérdida de la capacidad de retención de agua de la carne. Esto se traducía en un mayor desarrollo de carnes PSE, al favorecerse la depleción del glucógeno muscular. Por este motivo, Sybesma (1973) ya sugirió en su día que la instauración temprana del *rigor mortis* presentaba grandes diferencias atribuidas, entre otras cosas, a las diversas técnicas de sacrificio empleadas

Destino comercial de las carnes que desarrollan rigidez muscular

Dado el importante desarrollo de carnes de baja calidad en canales con un desarrollo precoz del *rigor mortis*, y su más que probable incidencia en mataderos industriales, se procedió a estudiar el destino comercial a que eran sometidas dichas carnes. Para ello, se identificaron 122 animales que desarrollaron rigidez muscular temprana a la salida de la cabina de apurado, y se clasificaron para su *destino comercial* en dos categorías, establecidas por un operario cualificado y basadas en los mismos criterios que se utilizan en la industria cárnica para la clasificación subjetiva EBRM.

De este modo, las canales clasificadas con ***categoría 1***, se corresponden con los mismos criterios que se utilizan para clasificar canales cuyas carnes van destinadas normalmente a la obtención de productos curados, y canales clasificadas con ***categoría 2***, las que se corresponden con los criterios para la clasificación de canales cuyas carnes van destinadas a la obtención de productos destinados a la venta en fresco, o bien, a productos cocidos.

Los valores medios de CE_2 y pH_8 , así como la distribución porcentual de carnes normales y de baja calidad según el destino comercial de dichas carnes, mostró los valores que aparecen en la Tabla 27.

Tabla 27.
Indicadores de calidad según el destino comercial de la canal.

	Destino comercial		P
	Salado (1)	Cocido o Fresco (2)	
Casos	81	41	
CE_2	6,81±3,80 ^a	6,68±2,90 ^a	0,8841
pH_8	5,81±0,31 ^a	5,90±0,29 ^a	0,1678
PSE (%)	28,3	20,0	
Normal	45,0	45,0	
DFD (%)	10,0	5,0	

Medidas con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

P: Probabilidad estadística

No se apreciaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en los valores medios de CE y pH entre canales de ambas categorías que experimentaron rigidez muscular tras el sacrificio. A pesar de esto, se apreció un gran porcentaje de carnes de baja calidad (28,3% PSE y 10% DFD) que fueron clasificadas por la industria como piezas idóneas para la obtención de productos destinados al curado (categoría 1).

Además, si tenemos en cuenta que habitualmente la mayoría de los jamones de las canales hembra van destinados al curado debido a sus inmejorables aptitudes tecnológicas, en el caso que nos ocupa, un alto porcentaje de carnes PSE en canales hembra fueron destinadas tanto a la obtención de productos curados (33,3%) como para la venta en fresco o cocidos (25%).

En menor grado, el 13,3% de carnes PSE y el 20% de carnes DFD de canales macho se destinaron para el curado y el 16,7% de carnes PSE para el fresco-cocido. Por su parte, la mayor proporción de carnes normales se detectó en los casos en que el destino comercial era hacia la venta en fresco o el cocido.

Tras lo visto, parece evidente que existe una cierta tendencia a que la producción de estas carnes de baja calidad sea utilizada mayoritariamente en la elaboración de productos curados de primera calidad, tales como el jamón curado salado, en buena parte debido a que la mayoría de las piezas nobles de la canales hembra (56,25%), eran destinadas para el salado, inclinando la balanza de las carnes normales claramente hacia el destino en fresco o cocido.

Todo ello nos hace sospechar que los sistemas de clasificación subjetiva utilizados en los mataderos, basados en la clasificación EBRM y enfocados en establecer el destino comercial de las piezas comerciales, al regirse tan sólo en la clasificación de las canales con unas características tecnológicas de conformación óptimas, sin tener en cuenta determinados indicadores de calidad, cometen un elevado porcentaje de errores que se traducen principalmente en destinar carnes de baja calidad para la obtención de productos de primera calidad.

Por este motivo, la correcta clasificación de canales para la adecuación del destino tecnológico de las carnes, debería de contar con la información añadida de estimaciones objetivas de calidad mediante el uso de indicadores como el pH y la CE, así como de estimadores subjetivos, como los basados en la detección precoz de la rigidez muscular, si se quiere hacer una selección más exhaustiva de aquellas canales cuya evolución es hacia el desarrollo de los defectos PSE y DFD, y de esta manera, reducir las mermas derivadas de una mala calidad.

5.2.2.2. Evolución de la temperatura superficial de la canal y su influencia sobre los procesos de escaldado y pelado.

Introducción y objetivos

Entre los tratamientos tecnológicos a que son sometidos los animales tras el sacrificio, cabe destacar aquellos que influyen directamente sobre la ganancia o pérdida de temperatura en superficie, como es el caso del escaldado, el pelado y el flameado de los animales, pues como es bien sabido, oscilaciones ostensibles en la temperatura de la superficie corporal pueden derivar en defectos importantes de la calidad tecnológica de las canales, como los descritos por Prändl *et al.* (1994) relativos a una temperatura excesiva del agua de escalde, que conducen a la transformación en cola del colágeno cutáneo, disminuyendo su consistencia y aumentando la frecuencia de desgarros cutáneos, o las consabidas deficiencias en el rasurado de la piel de los animales, como consecuencia de la pérdida rápida de temperatura en superficie, o bien, la excesiva retracción del colágeno, derivando en una mayor dureza de la corteza y en una coloración amarillenta más intensa de la piel, al usar temperaturas de flameado muy intensas, o por espacio de tiempo excesivo.

El objetivo planteado en este trabajo fue estudiar la evolución de la temperatura superficial de las canales tras el sacrificio y posterior paso por los diferentes puntos de medida, y estimar la pérdida de aptitud tecnológica en la canal derivada de fluctuaciones en las condiciones de trabajo en peladora y cuba de escalde, que pudieran afectar a la temperatura cutánea de la canal, proponiendo si fuese necesario, alternativas funcionales o tecnológicas que ayudasen a mejorar la calidad de la canal.

De la misma manera, se estudiaron los ritmos de sacrificio altos (>400 cerdos/h) y bajos (<300 cerdos/h) establecidos en el matadero, con el fin de poder determinar su influencia en el grado de caída térmica de la canal durante las fases siguientes al sacrificio, y su posible relación con la pérdida de calor y la calidad del pelado en la canal.

Diseño experimental

Se registró la temperatura superficial de 651 cerdos, en dos sesiones de trabajo, una primera utilizando ritmos de sacrificio altos (>400 cerdos/h) donde se tomaron 338 medidas, y una segunda sesión con ritmos de sacrificio bajos (<300 cerdos/h) donde se tomaron 313 registros. Las medidas de temperatura se hicieron sobre la zona ventral del animal, cerca de la línea media, excepto para la toma de medidas en la entrada a la peladora, las cuales fueron hechas en la cara interna del miembro posterior, debido a la dificultad de realizar la anterior medida conforme la cadena de conducción aérea se elevaba hasta los 4-5 m que presentaba antes de acceder a la entrada de la peladora, lo cual, junto a los vapores que emanaban de la zona, sólo permitían acceder hasta la cara interna del miembro pélvico para el registro de su temperatura tras subir por una escalera lateral que presentaba dicha cabina.

Las medidas de temperatura superficial de la canal se realizaron con un termómetro portátil Digitrón serie Mavotherm 32 equipado con sonda de registro Termopar K de contacto / superficie, modelo T650-O, el cual opera a un rango de temperatura entre -50°C y +650°C, con una precisión de 0,1°C. Las medidas de temperatura ambiente y humedad relativa en los distintos puntos de control, se hicieron con un termohigrómetro portátil Digitrón serie SP3R Dataprinter (*Digitron Instrumentation Limited*, UK) con sonda de precisión, cuya resolución fue de 0,1°C y 1% HR, y los registros de temperatura de la cuba de escalde y pelado, mediante los valores indicados en sus registradores correspondientes.

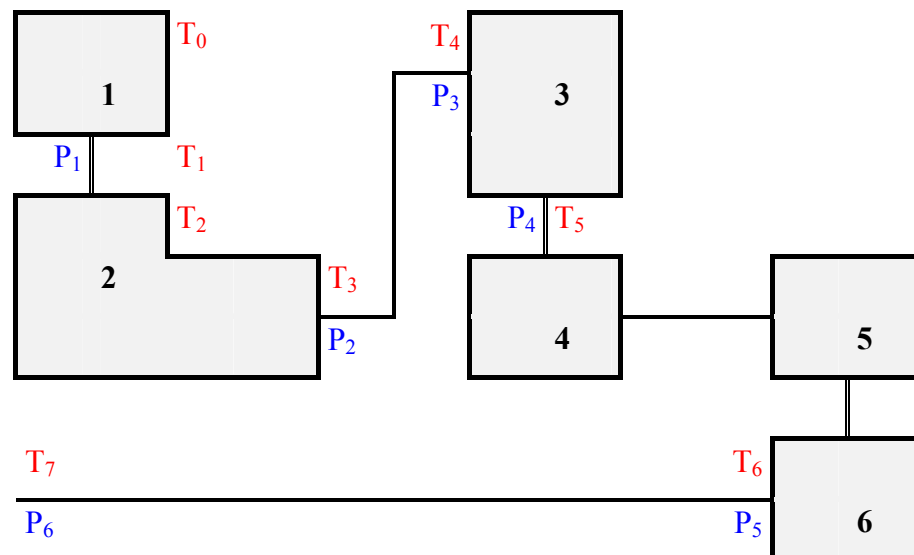
Todas las medidas se llevaron a cabo por la tarde, durante las 16:00-19:00 h, entre los meses de diciembre y enero, con una temperatura ambiente en la planta que osciló entre 22 y 27°C, y una HR entre 60-90% (Tabla 29). La duración de las principales operaciones a que fueron sometidos los animales (Tabla 29) fue de 5,10-5,30 min de escaldado, 0,33-0,35 min de pelado y escasamente 4-5 s de flameado. Los indicadores de temperatura del agua registraban 61°C en la cuba de escalde y 56°C en la cuba de la peladora, cuando la velocidad de la cadena era alta, y valores de 61,5°C en escalde y 59°C en peladora, cuando la velocidad era baja.

La Tabla 28 muestra los diferentes puntos de control y medida que se realizaron en la sala de sacrificio, y en la Figura 62, de forma esquemática, como quedaron distribuidos dichos puntos de control.

Tabla 28.
Tiempos y puntos de medida desde el degüello hasta el eviscerado.

Descripción de tiempos y puntos de medida			
Punto	Medida	Punto	Tiempo
P ₁	Previo a la entrada de los animales a la cuba de escalde	T ₀	Tiempo cero de inicio del desangrado
P ₂	Tras la salida de la cuba de escalde	T ₁	Desde el inicio del sangrado hasta el punto de medida P ₁
P ₃	Previo a la entrada de la peladora	T ₂	Desde el inicio del sangrado hasta la entrada al escalde
P ₄	Tras la salida de la peladora	T ₃	Tránsito por cuba de escalde
P ₅	Tras la salida de la cabina de apurado y duchado final	T ₄	Desde la salida de escalde hasta la entrada a peladora
P ₆	Previo al acceso hacia la zona de faenado del matadero	T ₅	Tránsito por peladora
		T ₆	Desde salida de peladora hasta salida de apurado final
		T ₇	Tránsito la canal por el pasillo de acceso a zona de faenado

Figura 62.
Representación esquemática de los tiempos y puntos de medida.
 1; Desangrado 2; Escalde 3; Pelado 4; Apurado; 5; Flameado 6; Apurado final.



Resultados

La Tabla 29 muestra la evolución de la temperatura corporal en la canal en los diferentes puntos y tiempos de medida, diferenciando los ritmos de sacrificio de alta y baja producción, así como el número de medidas realizadas y la temperatura y humedad relativa ambiente que presentó la sala en el momento de realizar los controles.

Tabla 29.

Registro de las condiciones ambientales, duración de procesos y temperatura externa de las canales, para diferentes ritmos de sacrificio.

	Ritmo de producción	Tiempos	Registros en canal		Condiciones ambientales	
	a. >400c/h b. <300c/h	(min)	N	T ^a (°C)	T ^a (°C)	HR (%)
P ₁	alto	T ₁ : 3,40 T ₂ : 4,35	65	27,19	25,1	61,2
	bajo	T ₁ : 4,25 T ₂ : 5,30	53	26,32	23,1	66,2
P ₂	alto	T ₃ : 5,10	48	50,03	24,9	79,0
	bajo	T ₃ : 5,30	52	51,75	26,3	71,9
P ₃	alto	T ₄ : 1,35	51	39,51	26,3	71,9
	bajo	T ₄ : 1,45	45	38,76	24,9	79,0
P ₄	alto	T ₅ : 0,33	67	42,68	22,5	66,4
	bajo	T ₅ : 0,35	60	45,83	25,2	78,0
P ₅	alto	T ₆ : 2,05	49	31,38	27,0	74,5
	bajo	T ₆ : 2,15	53	31,55	25,0	91,1
P ₆	alto	T ₇ : 3,20	58	30,60	24,6	70,9
	bajo	T ₇ : 3,25	50	29,95	23,2	68,2

En líneas generales, los ritmos de sacrificio más bajos determinan unos recorridos más duraderos entre los diferentes puntos, con procesos de escaldado y pelado que elevan más la temperatura de la superficie de la canal que cuando se utilizan ritmos de sacrificio mayores.

Con el fin de poder establecer diferencias en la temperatura de la canal como consecuencia de los diferentes procesos tecnológicos a que eran sometidos los animales en esta fase del sacrificio, se procedió al análisis de varianza de los valores medios de temperatura en función al punto de medida y a la velocidad de la cadena (Tablas 30 y 31).

Tabla 30.
Valores medios de temperatura de la canal según el ritmo de sacrificio.

	Ritmos de sacrificio		Media
	> 400 c/h	< 300 c/h	
P ₁	27,19±1,22 ^e	26,32±0,75 ^f	26,81±1,12 ^f
P ₂	50,03±1,88 ^a	51,75±2,54 ^a	50,98±2,41 ^a
P ₃	39,51±1,17 ^b	38,76±1,71 ^b	39,19±1,45 ^b
P ₄	42,68±1,52 ^c	45,83±1,81 ^c	44,00±2,26 ^c
P ₅	31,38±0,74 ^d	31,55±1,50 ^d	31,47±1,18 ^d
P ₆	30,61±0,84 ^d	29,95±0,72 ^e	30,30±0,84 ^e
P	0,0000	0,0000	0,0000

Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes (P<0,05)

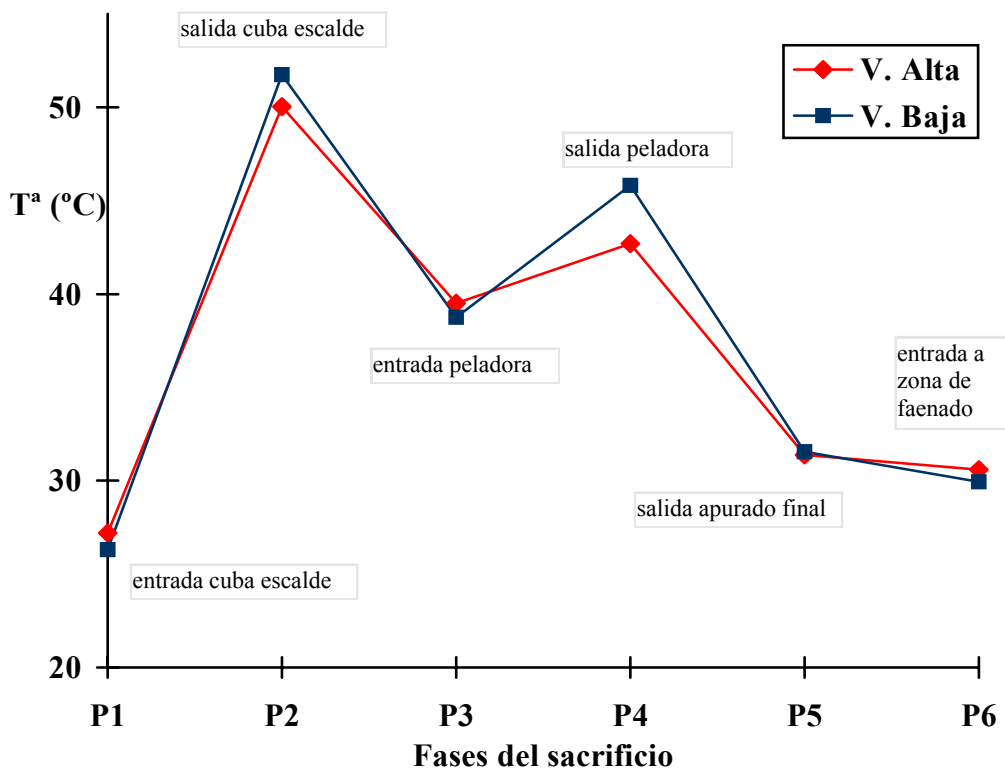
P: Probabilidad estadística

Como se observa en la Tabla 30, los valores medios de temperatura de la canal durante su paso por los diferentes procesos tecnológicos posteriores al degüello, presentaron diferencias significativas (P<0,05) entre sus registros, al igual que para las diferentes modalidades de sacrificio utilizadas (>400 cerdos/h y <300 cerdos/h), si bien, las diferencias de temperatura entre los distintos puntos de medida se acortaban en la modalidad de ritmos elevados, e incluso entre los puntos 5 y 6 no se detectaron diferencias significativas (P>0,05).

Esto viene a decir que conforme la velocidad de la cadena es mayor, la temperatura de la canal tiende a equilibrarse en aquellos puntos en los que no intervienen procesos tecnológicos que aporten calor a la superficie de la canal, como pueden ser el escaldado, el pelado o el flameado.

Al representar gráficamente la evolución térmica de la canal durante su recorrido por la zona de sacrificio, observamos que ésta evoluciona en forma de dientes de sierra, dependiendo del ritmo de sacrificio y de la operación a que se vea sometida, para acabar con unos valores medios parecidos a los iniciales (Figura 63).

Figura 63.
Evolución de la temperatura superficial de la canal.



La evolución descrita por las temperaturas de ambas modalidades describen un curso en dientes de sierra muy parecido, destacando la gran influencia de las temperaturas del agua en cuba de escalde (P₂) y peladora (P₃) sobre el incremento de la temperatura superficial en la canal, y la poca o nula influencia de las etapas posteriores de apurado, flameado y apurado final (P₅), en dicho proceso.

Troeger y Woltersdorf (1987), consideran que tras el escaldado y pelado, la temperatura superficial de las canales permanece más elevada, una media de 1°C en la primera hora *post mortem* (39°C), frente a los casos en los que los animales son desollados (38°C).

Por el contrario, Monin *et al.* (1995) no encontraron diferencias en la temperatura de la canal y el pH, a los 30 min *post mortem* entre los sistemas de escaldado/pelado y desollado, concluyendo que la calidad de la carne era ligeramente mejor tras el desollado, pero que las diferencias respecto al otro sistema eran insignificantes. En este sentido, Eilert (1997) observó una mejora en la calidad de la carne tras el desollado de las canales de cerdo, al permitir acortar los tiempos de eviscerado posterior, facilitando la extracción rápida de vísceras calientes y la pérdida de temperatura en la canal, mejorándose según Troeger y Woltersdorf (1987) el color del músculo y la capacidad de retención de agua.

Como muestra la Tabla 31, las diferencias más significativas desde un punto de vista estadístico, y a la vez más importantes desde un punto de vista tecnológico, las encontramos al comparar los valores medios de temperatura de la canal en función al punto de medida o proceso tecnológico por separado.

Tabla 31.
Valores medios de temperatura de la canal según el punto de medida.

	Ritmos de sacrificio		P
	> 400 c/h	< 300 c/h	
P₁	27,19±1,22 ^a	26,32±0,75 ^b	0,0152
P₂	50,03±1,88 ^b	51,75±2,54 ^a	0,0114
P₃	39,51±1,17 ^a	38,76±1,71 ^a	0,1482
P₄	42,68±1,52 ^b	45,83±1,81 ^a	0,0000
P₅	31,38±0,74 ^a	31,55±1,50 ^a	0,6154
P₆	30,61±0,84 ^a	29,95±0,72 ^b	0,0071

Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

P: Probabilidad estadística

Se observa como incluso la velocidad de la cadena de sacrificio influye en un primer momento en la temperatura corporal de los animales durante el recorrido que hacen éstos antes de entrar a la cuba de escalde, para su correcto desangrado. Es importante mencionar que cuando la velocidad es elevada, los animales presentan una temperatura media en superficie, significativamente mayor ($P < 0,05$) que cuando se utilizan velocidades más lentas, por lo que cabe la posibilidad de que estos animales puedan presentar una temperatura sensiblemente mayor debido a un menor desangrado como consecuencia de hacer este recorrido en menor espacio de tiempo.

Como apuntan Hoenderken (1983) y Blackmore y Newhook (1991), en tales condiciones se compromete el bienestar animal y se ve favorecida la posibilidad de que el animal esté consciente antes de entrar al escaldado.

Los animales que son escaldados en régimen de máxima velocidad de cadena, salen del escalde con una temperatura media en superficie menor ($P < 0,05$) que cuando son sometidos a un régimen de menor velocidad, dando tiempo en estos casos, a que los animales salgan más calientes y en consecuencia, en mejores condiciones para el posterior pelado.

Al comparar la evolución de la temperatura superficial de las canales durante su paso por la cuba de escalde, con los resultados obtenidos por Woltersdorf y Mintzlaff (1996) al usar sistemas de escaldado por condensación, donde las temperaturas medias alcanzadas en la canal superaron en todos los casos los 60°C , llegando a valores máximos de $62,5^{\circ}\text{C}$, observamos que con este sistema de escaldado por inmersión la temperatura media en la canal es de unos 51°C .

Estos autores obtuvieron una mejora en la calidad tecnológica de las canales, respecto a la obtenida en nuestro estudio, al encontrar que las cerdas se desprendían fácilmente durante el pelado de los animales, a excepción de las zonas de difícil acceso como la cabeza, y como las pezuñas se desprendían de forma natural tras el escaldado.

No se observan diferencias significativas ($P > 0,05$) en la temperatura de los animales a nivel del acceso a la peladora (P_3), de modo que en este punto, independientemente de la velocidad de la cadena, la temperatura corporal de los animales apenas sufre modificaciones debido a que el recorrido de dicho pasillo es relativamente corto y no permite crear grandes diferencias.

Sin embargo, debemos resaltar la diferencia térmica experimentada en la superficie de la canal entre los puntos P₂ y P₃, que definen el trayecto entre salida de cuba de escalde y la entrada a peladora, la cual sufrió una mayor caída (12,9°C) cuando la velocidad de sacrificio era baja, que cuando el ritmo era elevado (10,5°C), lo que supuso una diferencia de 2,4°C con respecto a la modalidad de velocidad baja, a pesar de que tanto la temperatura de la sala (24,9°C y 26,3°C, respectivamente), como la HR (79,0% y 71,9%, respectivamente), fueron parecidas.

Estas diferencias podrían tener su explicación en la presencia de una compuerta de evacuación de despojos hacia el exterior, localizada lateralmente a las zonas de escaldado y pelado, la cual favorecía la formación de frecuentes corrientes de aire sobre dicho pasillo, así como un descenso rápido de la temperatura corporal de los animales, más acusado durante los ritmos de sacrificio bajos, al permitir un mayor tiempo de exposición a tales condiciones.

En estos casos, se observaron deficiencias en el pelado de los animales tanto en zonas de fácil acceso (vientre, dorso, etc.) como de difícil acceso (cara, miembros, etc.), que se vieron agravadas en aquellos animales con un pelo más duro, por lo que pudimos comprobar que el diseño de pasillos de acceso hacia peladora pone en entredicho la calidad del proceso de pelado de los animales, tanto si se favorecía el descenso de la temperatura superficial de la canal, como si aumentaba el tiempo del recorrido por dichos pasillos.

En este caso concreto se podrían proponer alternativas enfocadas a mejorar el pelado de los animales, tales como el suprimir dicho pasillo y reubicar la peladora, de modo que los animales pasen directamente del escaldado al pelado, o en su defecto, aumentar la temperatura del agua de la peladora y/o la velocidad de la cadena de sacrificio.

Del mismo modo, se podría proponer el empleo de una escala subjetiva de grados de pelado, basándose en la presencia o no de restos de pelos en las zonas de fácil y difícil acceso, con el fin de poder identificar rápidamente las deficiencias en el pelado y adoptar las medidas correctoras que fuesen necesarias.

Por su parte, a la salida de la peladora se vuelven a detectar diferencias de consideración ($P < 0,05$) en las temperaturas corporales medias de los animales, de modo que cuanto mayor es el ritmo de sacrificio y menor es el tiempo de pelado, los animales experimentan una bajada considerable de su temperatura, respecto a los ritmos más bajos, que reportan canales más calientes. Estas diferencias térmicas se traducen en una peor predisposición tecnológica hacia el pelado conforme se va incrementando la velocidad del sacrificio, dado que cuanto menor es la temperatura de la piel, mayor es la dificultad de poder expulsar el pelo del folículo piloso.

Resultados similares obtuvieron Wal *et al.* (1993), en estudios de la influencia del escaldado sobre la temperatura subcutánea de canales de cerdo y su aptitud para el pelado, al encontrar que conforme aumentaba el escaldado ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$) de 5,5-7 min hasta los 9 min se obtenían unos resultados satisfactorios en el pelado posterior de los animales, incluso en aquellos que presentaban un pelo más duro (9 min), sin que ello afectara al pelado posterior ni a la calidad de la carne, pues como apuntan estos autores, el calor absorbido durante el escaldado era eliminado rápidamente cuando finalizaban las fases de escaldado y quemado.

Tras el paso de las canales por las cabinas de apurado, flameado y apurado final, las temperaturas corporales no experimentan diferencias significativas ($P > 0,05$) entre las dos modalidades de velocidad, concluyendo por tanto en que éstas operaciones no sólo no afectan a la temperatura de los animales, al no reportar incrementos de la misma, sino que además son indiferentes al ritmo de sacrificio que se esté utilizando.

Por último, se observan diferencias ($P < 0,05$) en las temperaturas superficiales de los animales en el punto de acceso hacia la sala de eviscerado, de tal modo que, cuando la velocidad de la cadena es mayor la temperatura de la canal también lo es, por lo que a diferencia del pasillo anterior, este pasillo es lo suficientemente largo como para que una velocidad de la cadena baja permita reducir la temperatura de la canal de forma significativa antes del eviscerado.

En conclusión, los tradicionales sistemas de escaldado y pelado, a pesar de contar con una aptitud tecnológica para el pelado inferior a los sistemas de escaldado por condensación y aportar una calidad en la carne sensiblemente inferior que el sistema de desollado, según Carr (1985) y Honkavaara (1989a), como consecuencia de acelerar la glucólisis *post mortem* y reducir el pH cuando la temperatura de la canal todavía es alta, provocando un mayor desarrollo de carnes PSE, siguen siendo utilizados, a juicio de Cannon *et al.* (1995), de forma mayoritaria en mataderos con elevados ritmos de sacrificio debido a las ventajas que reportan en cuanto a eficiencia y reducción en el tiempo invertido para tales procesos.

5.2.3. Fase de enfriamiento de las canales

El enfriamiento de las canales de cerdo a nivel industrial supone el principal sistema de conservación que permite mantener las condiciones óptimas de la carne antes y durante su comercialización. En la fase de refrigeración inicial de las canales, conocida como fase de oreo rápido, donde el músculo se transforma en carne, se hace preciso aplicar frío de manera inmediata con el fin de reducir las elevadas temperaturas que presentan tras el sacrificio. Al reducirse el calor interno de forma rápida, mejora el rendimiento, y se evita la acción de agentes causantes del deterioro de la carne.

El objetivo planteado fue comprobar la eficacia de los sistemas industriales de enfriamiento de canales de cerdo para alcanzar las características de calidad tecnológica más apropiada en la canal. Para ello, se estudiaron las distintas fases de refrigeración, con el fin de poder relacionar defectos en la calidad de la carne con deficiencias en el funcionamiento del sistema de enfriamiento, en la capacidad frigorífica de las instalaciones, en el diseño de los túneles de oreo, o incluso en las características de trabajo de los operarios en la planta, con el fin de proponer las medidas correctoras que fuesen pertinentes.

5.2.3.1. Incidencia de un sistema de refrigeración rápida polifásica sobre la temperatura profunda, media y superficial de la canal y la calidad de la carne.

Introducción

El enfriamiento rápido de las canales de cerdo tras el sacrificio, cuyos precedentes se remontan a la década de los 60 (Borchert y Briskey, 1964), es el procedimiento usado habitualmente en la industria cárnica para mejorar las características de calidad en la carne (Cannon *et al.*, 1995). Estos sistemas permiten ralentizar la glucólisis *post mortem* y obtener un pH final en el músculo más elevado, reduciendo la incidencia PSE (Carr, 1985), y reportando mejoras en las características de color, firmeza y consistencia de la carne (Crenwelge *et al.*, 1984), así como en la capacidad de vida útil de la misma (Gill *et al.*, 1992).

Diseño experimental

Instalaciones

Se utilizó un sistema industrial de refrigeración consistente en una fase inicial de enfriamiento rápido (cámara 1) y dos posteriores de mantenimiento refrigerado (cámaras 2 y 3), como el descrito en el apartado 4.5. Figura 44. En la cámara 1, la circulación de las canales era continua y modificable en velocidad, describiendo un circuito constante con giros de 180°. La separación entre carriles, carriles laterales y pared, y canales y suelo, era de 0,5 m en cada caso, lo cual implicaba trabajar en condiciones de estiba excesiva, comprometiendo la adecuada refrigeración de las canales. Los refrigeradores distribuidos en la línea central de la cámara y en ambas paredes laterales, proyectaban el aire hacia el suelo y paredes, haciéndolo circular a ambos lados de la línea central de la cámara.

La cámara 2 presentaba unas condiciones de estiba homogéneas, con una separación entre carriles (1,5 m), carriles laterales y pared (1 m), y una altura de los carriles (1 m), que facilitaba el paso de la corriente de aire frío. Los refrigeradores localizados a lo largo de la línea central de la cámara, expulsaban el aire perpendicularmente hacia el suelo.

La cámara 3 trabajaba en condiciones de estiba variable dependiendo de las necesidades de producción, actuando como almacén refrigerado previo al despiece. La separación entre carriles, y entre canales y suelo era de 0,5 m en ambos casos, por lo que la refrigeración en esta fase estaba condicionada al volumen de ocupación. Los refrigeradores quedaban distribuidos en la línea lateral de la sala y el aire se hacía proyectar en sentido opuesto a las paredes.

Este sistema trabajaba a un ritmo medio de sacrificio de 320 canales / hora (c/h), pudiendo oscilar por debajo de 300 c/h, o por encima de 400 c/h, en función a las necesidades de producción. Las condiciones de trabajo registradas en la instalación frigorífica, relativas a temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y duración del proceso, aparecen en la Tabla 32.

Tabla 32.
Condiciones de trabajo en cámaras frigoríficas.

	Medidas realizadas			
	T ^a (°C) (M±D)	HR (%) (M±D)	Velocidad del aire (m/s) (M±D)	Duración (min)
Cámara 1	0,42±1,85	87,75±8,52	3,51±0,92	90
Cámara 2	3,21±1,95	88,02±7,06	1,48±0,43	240
Cámara 3	3,45±1,53	86,17±9,64	0,96±0,34	270

M±D; Media ± Desviación típica

Animales

Se hizo un primer seguimiento de la temperatura profunda de la canal durante la primera fase de refrigeración (cámara 1), medida en el centro del músculo SM a una profundidad aproximada de 15 cm, en intervalos de 10-15 min, a fin de comprobar la eficacia del sistema utilizado sobre la caída térmica experimentada por las canales, y la incidencia de los ritmos de producción (Figura 64).

Para ello, se realizaron tres ensayos diferentes (A, B, C) con distintos ritmos de producción en cada caso (320, 290 y 425 c/h), estableciendo un muestreo de 50 canales por ensayo, donde se registraron la media de los valores de temperatura en canal a la entrada y salida de la cámara de oreo rápido y en los 7 puntos intermedios correspondientes a los giros de la cadena de conducción. Además se registraron los valores de CE y pH a 45 min y a 2 h, con el fin de poder establecer diferencias de calidad según los ritmos de producción. El peso medio de las canales fue de $76,53 \pm 9,56$ kg.

El segundo ensayo consistió en estudiar la evolución de la temperatura de la canal tomada a diferentes niveles de profundidad del músculo SM, esto es, temperatura interna (15 cm), temperatura media (7-8 cm), y temperatura externa a nivel de la superficie cutánea, en condiciones medias de trabajo y producción (320 c/h) durante la fase de oreo rápido (cámara 1, Tabla 32), utilizando para ello un total de 60 canales, donde se realizaron los tres registros de temperatura en los mismos puntos de la cadena de conducción que para el caso anterior (Figura 65).

En el tercer ensayo se estudio la evolución de la temperatura interna de la canal durante las tres fases de refrigeración, considerando determinados factores que pudieran ocasionar posibles desviaciones de las condiciones normales, como las variaciones en los ritmos de sacrificio (Figura 66).

En este caso, se utilizó un número de canales variable según los tres puntos de medida (Tabla 33); a la salida del peso (45 min), a la salida del oreo rápido (2 h), y a las 8 h previo a la salida al despiece.

Medidas

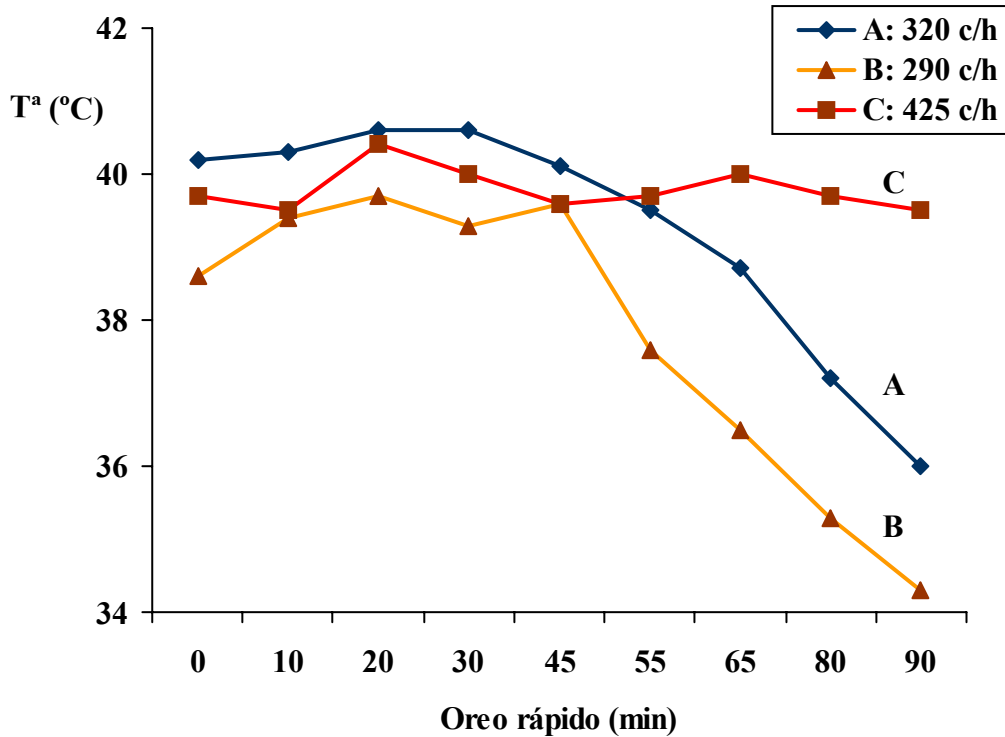
Las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa fueron tomadas con un termohigrómetro portátil Digitron SP3R Dataprinter (Digitron Instrumentation Limited, UK) con sonda de precisión de 0,1°C y 1% HR. La temperatura de la canal fue tomada con un termómetro portátil Digitron T200, provisto de una sonda de acero con una precisión de 0,1°C. La velocidad del aire fue medida con un anemómetro digital Testo 425 clase Compact, dotado de una resolución de 0,1 m/s y 0,1°C (escala de velocidad 0-20 m/s y temperatura -20/70°C) y provisto de una sonda telescópica tipo molinete $\phi 60$ (0,25 a 20 m/s).

Para valorar la influencia del sistema de enfriamiento rápido sobre la calidad final de la carne, se registró el pH con un pHmetro portátil Crisón, modelo 507 equipado con un electrodo combinado de vidrio, y la conductividad eléctrica (CE) con un conductímetro portátil PQM (Pork Quality Meater). Los registros de pH y CE fueron obtenidos en tres puntos (Tabla 33): a la salida del peso (45 min), a la salida del oreo rápido (2 h) y previo a la salida de refrigeración (8 h)..

Resultados

Como se observa en la Figura 64, a ritmos medios (A) la temperatura profunda de la canal presentó una evolución ascendente durante la primera fase de refrigeración, por encima de 39-39,5°C, la cual continuaba hasta bien avanzado el oreo, para descender después a partir de la mitad del proceso frigorífico.

Figura 64.
Caída térmica durante la refrigeración rápida de las canales.



Coincidiendo con Troeger y Woltersdorf (1987), esta subida de temperatura en 1-1,5°C puede interpretarse como consecuencia del proceso de escaldado y flameado a que son sometidas las canales tras el sacrificio, el cual puede intensificar las reacciones bioquímicas *post mortem* del músculo, acelerando la glucólisis anaerobia y la degradación del ATP a ADP+P. Como consecuencia, se libera más energía en forma de calor y se eleva la temperatura del músculo por encima de sus valores normales.

Por su parte, ritmos excesivos de faenado (C) proporcionaron canales deficientemente refrigeradas que presentaban temperaturas muy elevadas en el centro del músculo. Esto puede ser especialmente crítico cuando se combina con descensos bruscos del pH (Fernández *et al.*, 1994), especialmente en animales sensibles al estrés (Daza y Callejo, 1991), pues ello deriva hacia la desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares, y a una mayor atracción electrostática, por diferencia de cargas entre los filamentos de actina y miosina (Lawrie, 1998), determinando una textura más blanda, una mayor exudación y reflexión de la luz en la carne, y en definitiva, una mayor incidencia de carnes PSE (Bañón, 1996).

Por el contrario, con ritmos de faenado inferiores al valor medio (B), la temperatura de la canal evolucionó al alza en las fases iniciales, con mayor caída térmica al final del oreo, por debajo del valor medio. En cualquier caso, las características metabólicas particulares del músculo de la especie porcina, hace que apenas sufran procesos de “acortamiento por el frío”.

En este sentido, Jones *et al.* (1993) no encontraron diferencias significativas en los valores medios de resistencia a la presión, usando una prensa Warner-Bratzler en canales enfriadas con sistemas de oreo rápido y refrigeración tradicional, si bien, las canales tratadas con oreo rápido incrementaron la variabilidad en los valores de presión. Para estos autores, el oreo rápido podría producir fenómenos de “acortamiento por el frío” en el músculo si la temperatura desciende por debajo de 10°C cuando el pH muscular es de 6,0, o incluso como apunta Ordoñez (1998), el acortamiento se puede producir cuando la temperatura de la canal se encuentra entre 0 y 5°C y el pH todavía es mayor de 6,4, como consecuencia de un exceso de cationes Ca^{+2} en el espacio intracelular y una aceleración de los fenómenos postmortales.

En definitiva, podemos observar como las condiciones de trabajo durante la refrigeración rápida condicionan el grado de caída térmica en la canal en la fase final del proceso, y en consecuencia la eficacia del proceso frigorífico.

Estas diferencias encontradas en la refrigeración de la canal según los ritmos de producción, son coherentes con los registros de pH y CE realizados después de someter a enfriamiento a las canales.

La Tabla 34 muestra el valor medio y desviación estándar para las medidas de temperatura profunda, pH y CE en el músculo SM. El análisis de varianza indicó un incremento significativo ($P < 0,001$) de CE a ritmos de sacrificio de 420 c/h. El pH fue a su vez menor a ritmos elevados, si bien dicho descenso no fue estadísticamente significativo ($P > 0,05$). Como es sabido, cuando la carne es sometida de forma simultánea a altas temperaturas y bajos pH se incrementa la desnaturalización de las proteínas musculares, aumentando la salida de electrolitos al espacio extracelular, con el consiguiente incremento de CE, típico de las carnes exudativas o PSE. Estos resultados confirmarían la relación entre los valores de temperatura profunda, CE y pH de la canal tras el oreo, descrita en la bibliografía (Fernández *et al.*, 1994; Bañón *et al.*, 1996).

Tabla 34.
Media y desviación estándar de la temperatura, pH y CE de la canal.

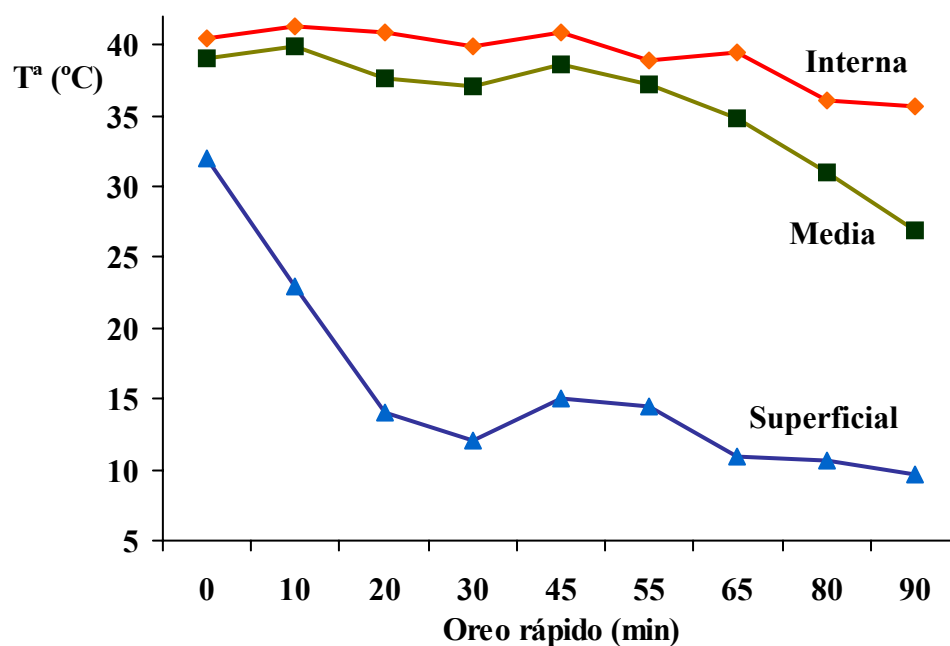
	Ritmos de sacrificio			P
	Bajos (B) (n=50)	Medios (A) (n=50)	Altos (C) (n=50)	
T ₂	34,58±2,22 ^b	35,48±1,36 ^b	39,04±1,01 ^a	0,0000
CE ₂	4,39±1,65 ^b	4,02±0,81 ^b	6,08±2,81 ^a	0,0007
PH ₂	5,75±0,27 ^a	5,78±0,21 ^a	5,69±0,21 ^a	0,3115

Medias con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

P: Probabilidad estadística

Al estudiar como se produce la pérdida de calor de la canal (Figura 65), se observa por un lado, como la temperatura interna y media eran muy similares al inicio de la refrigeración en cámara 1, diferenciándose hacia el final de dicho proceso, y por otro, como entre ambas temperaturas y la temperatura superficial de la canal existía un gradiente térmico muy acusado, a pesar de activarse los sistemas de desescarche por espacio de 20 min.

Figura 65.
Caída térmica según la profundidad del músculo *semimembranosus*.



La baja conductividad térmica de la carne ($0,491 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; Lewis, 1993) explicaría la diferencia de temperatura entre los planos medio-profundo y superficial del músculo SM tras el oreo, mientras que la generación interna de calor producto de la glucólisis muscular explicaría el incremento inicial de temperatura profunda y media, como ya se ha visto.

Además, conforme avanza el oreo rápido la superficie de contacto de la canal se va secando, la conductividad térmica de la carne es menor, disminuyendo aun más la transferencia de calor hacia el exterior.

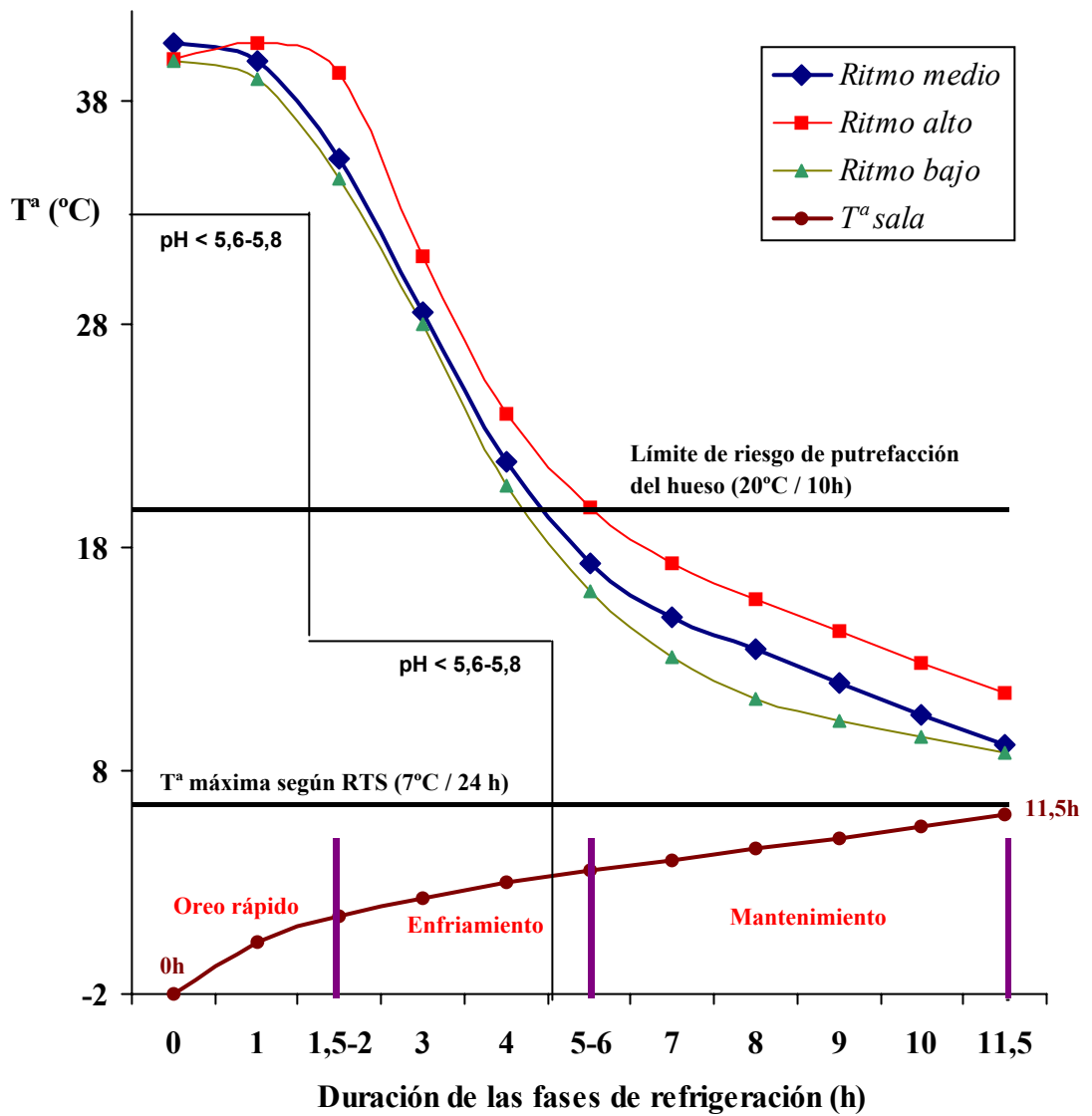
De acuerdo con Fernández y Jiménez, (1992) este modelo de refrigeración rápida aumenta el gradiente térmico entre la superficie y el centro de la masa muscular de la canal, de tal forma que asegura la posterior caída de temperatura por gradiente térmico durante las fases de mantenimiento refrigerado, a la vez que se evita la proliferación bacteriana y la degradación de las proteínas musculares, al asegurarse una rápida bajada de la temperatura en superficie, sin llegar a provocar procesos de congelación.

Por tanto, la diferencia de temperatura entre la zona profunda y superficial del músculo originada en el oreo rápido, determina un diferencial de gradiente térmico que garantiza la rápida caída de temperatura del centro de la masa muscular en las fases posteriores de refrigeración, siendo mayor la caída conforme aumenta dicha diferencia.

Al estudiar la caída térmica en las 3 cámaras (Figura 66), se comprueba como la temperatura de la canal desciende durante toda la refrigeración hasta alcanzar un equilibrio con la temperatura ambiente en la última fase de refrigeración, acercándose a ésta tras 11,5 h.

Este comportamiento ya fue descrito por James *et al.* (1983), utilizando sistemas frigoríficos de tres fases, donde las dos primeras operaban a -18°C y -5°C , y coincide con el descrito por Woltersdorf y Troeger, (1990).

Figura 66.
Evolución de la temperatura de la canal en sistemas de refrigeración de 3 fases. Cambios en la velocidad de cadena.



Se comprueba que a pesar de que las temperaturas medias en cámaras al inicio y final de la refrigeración no eran excesivamente diferentes, la eficacia en la caída térmica de la canal fue bastante buena. Por este motivo, la explicación de dicha eficacia debamos buscarla en el efecto combinado de la temperatura con la velocidad del aire empleada, las condiciones de estiba y la duración de las diferentes fases de la refrigeración. En general, dichos parámetros estuvieron bien ajustados para mejorar la eficacia del sistema.

En este sentido, se observó que cuanto mayor era la velocidad del aire, mayor era la velocidad de enfriamiento, de modo que en la cámara 1, incluso con unas condiciones de estiba no del todo apropiadas, la mayor velocidad del aire determinó un mayor paso de calor desde la superficie de la canal al aire refrigerante, mientras que en la cámara 3, con condiciones de estiba similares, la menor velocidad de aire condujo hacia un estado de equilibrio entre la temperatura de la canal y de la cámara a partir de unas 6 h de refrigeración. Esto se podría mejorar mediante la adecuación de los parámetros de estiba y velocidad de aire en la última fase de refrigeración, en función a las necesidades que imperen en cada momento.

Resultados similares obtuvieron Wal *et al.* (1995) al estudiar un sistema parecido de oreo rápido moderado, a -5°C durante 2 h y una velocidad del aire entre 2 y 4 m/s, frente a sistemas convencionales (entre 0 y 4°C , 24 h, y 0,5 m/s de aire) y sistemas de oreo ultrarápido (a -30°C , 30 min, y velocidades decrecientes de aire de 1,2 y 4 m/s), encontrando un efecto significativo de los sistemas de aire forzado sobre la temperatura profunda del músculo SM, de modo que después de utilizar sistemas de oreo rápido moderado con una elevada velocidad del aire, la temperatura interna del músculo fue menor que al utilizar sistemas convencionales y de oreo ultrarápido.

Las canales enfriadas bajo condiciones normales de trabajo para esta instalación, presentaron al final del proceso una temperatura superior ($9,2^{\circ}\text{C}$) a la exigida por la Reglamentación Técnico Sanitaria (RTS) para carnes frescas (RD 147/1993, modificado por RD 315/1996, y la Directiva 64/433/CEE, modificada por la Directiva 95/23/CEE). Según esta reglamentación, se debe llegar a 7°C en el caso de las piezas más gruesas de la canal, si bien, dicha temperatura se alcanza en unas 11,5 h frente al tiempo máximo de 24 h que establece dicha norma. Además, coincidiendo con Fernández y Jiménez (1992), la temperatura del centro de la masa muscular quedó claramente por debajo de 20°C al final de dicho proceso (11,5 h), con lo que estos sistemas industriales de refrigeración evitarían la aparición de putrefacción en el hueso.

Resultados similares obtuvieron Taylor y Tantikov (1992), al encontrar como la temperatura interna de la canal descendía hasta 10°C entre 5,8-10,8 h, dependiendo del peso de la canal, tras utilizar inicialmente sistemas de oreo rápido a una temperatura de $-9\pm 3^{\circ}\text{C}$, $1,2\pm 0,5$ m/s de aire durante 1,6-2 h, y posteriormente un oreo convencional con aire a 2°C y 0,5 m/s de velocidad.

Igualmente, Gigiél *et al.* (1989), obtuvieron una temperatura en el centro del músculo de 10°C en un tiempo de 11,5 h, utilizando un sistema de enfriamiento rápido con aire a -20°C , 2,73 m/s de velocidad durante 1,5 h, y una fase posterior a 4°C , 0,41 m/s de aire durante 21,5 h. No obstante, como apunta Ortner (1989), alcanzar 7°C en el centro de la masa muscular en unas 12 h con estos sistemas industriales de enfriamiento, conlleva una inevitable pérdida de calidad en la canal, referida principalmente a la apariencia en superficie y a las mayores pérdidas de peso por evaporación, sin olvidar los elevados costes de mantenimiento.

Cuando los ritmos de trabajo superaban las 400 c/h, se observaba una deficiente refrigeración de las canales durante el oreo rápido, y una temperatura profunda de las canales al final del proceso (11,5°C) por encima de los valores recomendados, a pesar de experimentar una buena caída de temperatura profunda durante la segunda fase de refrigeración. Además, conforme aumentaba el ritmo de sacrificio, la sobrecarga de canales en la cámara 3 se incrementaba sustancialmente, siendo este uno de los principales problemas derivados del manejo a que eran sometidas las canales en las instalaciones frigoríficas. Como apunta Grandin (2000), la sobrecarga de cámaras es la responsable de una insuficiente refrigeración de las canales, y de una considerable pérdida de calidad en la carne, cuantificada en importantes variaciones de carnes PSE.

Los ritmos de trabajo por debajo de 300 c/h, presentaron una evolución de la temperatura profunda muy parecida a las condiciones medias, si bien, las canales acabaron con temperaturas aún más bajas, destacando que durante el oreo rápido, las canales eran refrigeradas de forma eficaz, sin experimentar apenas subidas de temperatura durante el inicio de dicha fase.

Además, sólo en los casos de ritmos de sacrificio bajos se aseguró que la temperatura de la canal alcanzase los 34°C en 1-1,5 h, coincidiendo con Woltersdorf y Troeger (1990), como valores óptimos para prevenir la aparición de casos PSE en animales proclives ($\text{pH} < 5,6-5,8$), pues en el resto de casos, las condiciones en las que salieron refrigeradas las canales no garantizaron una mejor calidad final. No obstante, la refrigeración posterior de las canales, en condiciones normales, consiguió aproximar la temperatura de la canal a los valores recomendados (15°C en 4-5 h), si bien, Woltersdorf y Troeger (1990), opinan que resulta difícil conseguir estas temperaturas en el centro del jamón en tan corto espacio de tiempo.

Así pues, los ritmos de sacrificio superiores a 400 c/h, determinan una peor refrigeración de las canales durante el oreo rápido, alcanzando incluso temperaturas superiores a los 40°C, especialmente crítica cuando se combina con fuertes caídas del pH tras el sacrificio en animales proclives. Por su parte, el sistema de enfriamiento rápido en tres fases permitió que las canales salieran refrigeradas al final del proceso dentro de los límites establecidos por la RTS, así como, que no se alcanzara la temperatura crítica de putrefacción del hueso (20°C / 10 h).

Seguidamente se estudiaron los índices de calidad. La Tabla 33 recoge los valores medios y las desviaciones estándar para la temperatura profunda, pH y CE en el músculo SM tras 45 min, 2 y 8 h de enfriamiento.

Tabla 33.
Número de medidas, media y desviación estándar de la temperatura profunda, pH y CE de la canal.

	Evolución en la toma de registros		
	45 min	2 h	8 h
Casos	157	207	118
Temperatura	40,6±0,62	35,3±2,23	11,9±2,46
CE	4,25±0,96	4,30±1,66	5,48±2,72
pH	6,17±0,28	5,77±0,23	5,62±0,22

Como muestra la tabla, el valor de CE se incrementó suavemente conforme avanzaba la refrigeración, presentando a las 8 h valores normales, mientras que el pH también descendió de forma normal durante dicho periodo. Así pues, coincidiendo con Bañón *et al.* (1997b), ambos valores indican una escasa incidencia de carnes PSE (CE>8) y DFD (pH8>6,2) en el músculo SM.

La evolución que experimentó el pH del músculo durante el oreo rápido coincide con los resultados obtenidos por Dransfield *et al.* (1991), al utilizar un oreo a -15°C y 1-2 m/s de aire durante 2,5 h, pudiendo detectar unos valores de pH, de exudación y de reflectancia en el músculo SM, sensiblemente más bajos que cuando se utilizaban sistemas de oreo convencional (1°C , 0,5 m/s de aire), a la vez que no observó un incremento de la dureza en dicho músculo, atribuible a un enfriamiento rápido.

Los valores de pH y CE obtenidos se correspondieron con un 4,3% de carnes PSE y un 1,8% de carnes DFD. Laencina *et al.* (1996) detectaron una incidencia del 3,1% en carnes PSE y del 7% en carnes DFD, al utilizar sistemas de refrigeración consistentes en un oreo rápido a 0°C en 1,5 h, y posterior mantenimiento refrigerado a $4-5^{\circ}\text{C}$ durante 24 h. Tarrant (1989), también observó una importante reducción de la palidez y de la tendencia PSE en la carne, en sistemas de enfriamiento rápido.

Como se observa, el enfriamiento rápido de canales permite ralentizar la velocidad de la glucólisis muscular *post mortem* y mantener así la calidad de la carne. Por un lado, se consigue paliar en parte la desnaturalización proteica justo tras el sacrificio, y por otro, permite estabilizar antes el pH de la carne, mejorando la capacidad de retención de agua de la misma y su rendimiento en productos elaborados. Por este motivo, dada la baja incidencia de los defectos PSE y DFD encontrados, la aplicación de estos sistemas de refrigeración rápida parece tener un efecto positivo sobre la calidad de la carne.

No obstante, tal como apunta Eirlert (1997), los procedimientos de enfriamiento rápido de las canales a menudo no previenen el desarrollo de carnes PSE, pues en los casos PSE extremos, el defecto se produce inevitablemente antes de que las canales entren a las cámaras frigoríficas.

Según la literatura consultada, los efectos de la refrigeración sobre los parámetros de calidad son a menudo confusos y contradictorios, por ejemplo, para Laack y Smulders (1990), los rangos de enfriamiento no afectarían al pH final ni a los parámetros fisicoquímicos de calidad de la carne. Taylor *et al.* (1995) afirman que no hay diferencias de calidad asociadas con los diferentes sistemas de enfriamiento de las canales. Sin embargo, para otros muchos autores, si las hay. Entre ellos, McFarlane y Unruh (1996), encontraron que las canales porcinas tendían a presentar un pH final mayor con sistemas de oreo rápido (-25°C, 1 h) y enfriamiento posterior a 1°C, 23 h, que las canales enfriadas con sistemas convencionales (24 h a 1°C).

Resultados similares obtuvieron Milligan *et al.* (1998), quienes encontraron que las canales refrigeradas en sistemas de enfriamiento acelerado (-32°C, 2 m/s de aire durante 100 min) presentaban un pH muscular mayor a partir de las 4,5 h *postmortem*, reportando una mejor calidad en jamón y lomo que las canales enfriadas con sistemas convencionales a 2°C. Por su parte, Wismer-Pedersen (1987) observaron que las canales enfriadas en sistemas de oreo rápido presentaban una reducida capacidad de formación de ácido láctico en el músculo.

5.2.3.2. Efecto de las condiciones de trabajo en la cámara de oreo rápido sobre la temperatura y la calidad de la carne.

Introducción y objetivo

La fase de oreo va a ser decisiva para obtener una buena calidad de la carne, especialmente en aquellas canales potencialmente susceptibles a desarrollar carnes exudativas, pues permite atenuar la combinación de altas temperaturas con fuertes caídas del pH, reduciendo la desnaturalización proteica y la exudación de líquidos.

La fase de oreo rápido debe realizarse en cortos periodos de tiempo con el fin de evitar fenómenos como el acortamiento por el frío (poco frecuente en porcino), la aparición de signos de resecado externo de las superficies musculares, o incluso, si las temperaturas fuesen excesivamente bajas, la aparición de signos de congelación externa.

Por otro lado, la aplicación de un choque térmico drástico sobre las canales calientes mejora notoriamente la calidad sanitaria de las superficies expuestas al aire frío, al disminuir el crecimiento de microorganismos causantes de alteración en las carnes hasta niveles óptimos para el procesado posterior durante el despiece e industrialización.

Esta fase de oreo rápido presenta una serie de características de tipo funcional (velocidad de la cadena, duración del proceso, capacidad frigorífica, deshielo de los condensadores, etc.) y estructural (tamaño y proporciones de la sala, distribución de los refrigeradores, etc.) que la hacen diferente al resto de fases de enfriamiento, y que en conjunto, condicionan la refrigeración de las canales de forma significativa.

El objetivo planteado consistió en estudiar las condiciones de trabajo en el oreo y los posibles cambios durante su funcionamiento, así como su influencia sobre la capacidad de refrigeración de las canales y la calidad de la carne.

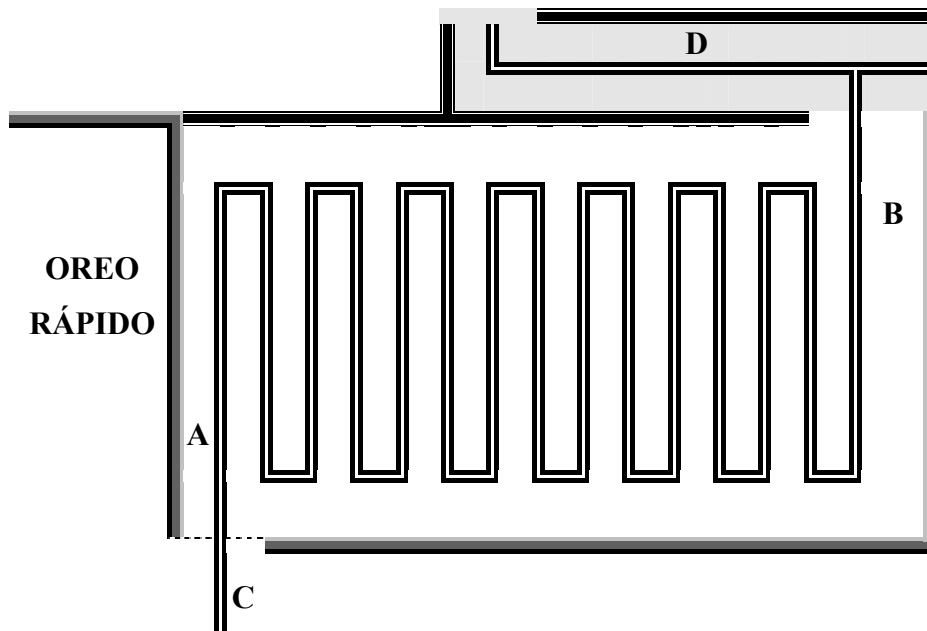
Diseño experimental

Los registros de temperatura y humedad relativa (HR) de la cámara frigorífica fueron tomados con un termohigrómetro portátil Digitron SP3R Dataprinter. Tal y como se observa en la Figura 67, estos registros se tomaron en dos puntos; en la entrada a la cámara por la puerta de acceso desde el matadero (A), y en el pasillo previo a la salida de la cámara de oreo (B).

La temperatura de la canal fue medida con el termómetro Testo 920, a unos 15 cm de profundidad sobre el músculo *Semimembranossus* (SM), y la conductividad eléctrica (CE) mediante la sonda PQM. Los registros de temperatura y CE de la canal se realizaron en el pasillo de entrada a la refrigeración (45 min), en la misma puerta de acceso (C), y a la salida del oreo rápido (2 h), en el pasillo de acceso al resto de cámaras frigoríficas (D).

Se chequearon un total de 96 canales repartidas en tres lotes (ensayos 1, 2 y 3), sometidas a diferentes condiciones durante el oreo, tales como los ritmos de sacrificio estimados según la velocidad de la cadena en esta fase y la duración de dicha fase.

Figura 67.
Diseño del oreo rápido. Puntos donde se tomaron los registros.



Resultados

La Tabla 35 muestra los valores medios y las desviaciones estándar de temperatura y CE, así como de todas aquellas otras variables relacionadas con el funcionamiento de la cámara de oreo rápido.

Según los registros obtenidos, cuando el ritmo de sacrificio superaba las 400 canales/h (c/h), y por consiguiente, los tiempos de refrigeración en oreo rápido quedaban por debajo de 90 min (ensayos 1 y 2), las canales salían del oreo deficientemente refrigeradas, con una caída térmica durante todo el ciclo inferior a los 2°C.

Tabla 35.
Estudio de variables en el oreo rápido.

	Ensayos		
	1 (n=32)	2 (n=33)	3 (n=31)
Ritmo de sacrificio (c/h)	±433	±469	±294
Duración del oreo (min)	±70	±80	±105
T ^a cámara “punto A” (°C)	0,7	1,7	0,6
T ^a cámara “punto B” (°C)	2,6	3,6	-0,3
HR cámara “punto A” (%)	77,1	76,4	79,8
HR cámara “punto B” (%)	94,5	99,9	92
T ^a canal “punto C” (media)	39,78±0,42	40,23±0,17	38,63±1,80
T ^a canal “punto D” (media)	39,55±1,14	38,77±0,88	34,31±2,46
Diferencial T C* (°C)	-0,23	-1,46	-4,32
CE canal “punto C”(media)	4,33±0,13	4,30±0,46	4,41±0,61
CE canal “punto D”(media)	3,65±0,76	5,71±2,69	4,05±0,66
Diferencial CE C** (ms ⁻¹)	-0,68	+1,41	-0,36
Carnes Exudativas (%)	13	33	4
Carnes no Exudativas (%)	87	66	96

* Diferencial Térmico de la Canal entre el inicio y el final del oreo rápido.

** Diferencial CE de la Canal durante el oreo rápido

Además, en estas condiciones (ensayo 2), la capacidad frigorífica de la cámara quedó mermada de forma notoria al detectarse un incremento de la temperatura durante el oreo de 1,7 a 3,6°C, y de HR hasta prácticamente la saturación.

También se pudo comprobar como el diferencial CE aumentaba conforme se incrementaba la velocidad de la cadena, y en consecuencia, los índices de calidad empeoraron claramente por encima de 400 c/h, llegando hasta un 33% de carnes exudativas en el ensayo 2.

En cambio, los ritmos de sacrificio en torno a 300 c/h (ensayo 3) presentaron periodos de refrigeración más prolongados y diferenciales de caída térmica superiores a los 4°C, sin llegar apenas a alterarse la capacidad frigorífica de la cámara, lo que supuso la obtención de canales más frías. En este caso, se detectaron los diferenciales CE más bajos de todos, observándose una escasa incidencia de carnes exudativas (4%).

Por su parte, se procedió al estudio de los coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 36), para determinar el efecto de los parámetros del oreo rápido sobre la temperatura de la canal y la calidad final de la carne. Los coeficientes obtenidos indican que el ritmo de sacrificio estuvo fuertemente correlacionado con las temperaturas al inicio y al final del oreo rápido ($r:0,74^a$ y $r:0,99^a$, respectivamente), de modo que al aumentar la velocidad de la cadena de conducción, la temperatura de la cámara se eleva y la HR al final del proceso tiende hacia la saturación ($r:0,59^b$). Esto indicaría que, al aumentar la velocidad de la cadena, entran al oreo un gran número de canales calientes y el sistema de refrigeración se colapsa al ser incapaz de poder enfriar eficazmente la superficie corporal de las canales, lo cual provoca que la eliminación de humedad superficial en forma de vapor de agua tienda a saturar el ambiente. Todo ello por tanto, condiciona la temperatura de la canal al final del oreo rápido, pues como se desprende de su correlación ($r:0,78^a$), aumentar los ritmos de sacrificio no favorece la correcta refrigeración de las canales.

Como cabría esperar, la duración de ésta fase de la refrigeración estuvo bien correlacionada con las temperaturas de la sala a la entrada (A) y a la salida (B) del oreo rápido ($r:-0,84^a$ y $r:-0,71^a$, respectivamente), es decir, conforme aumenta la duración del tratamiento frigorífico, mejoran las condiciones de trabajo de la sala al verse favorecida la obtención de temperaturas más bajas, reduciéndose la temperatura de la canal al final del oreo rápido ($r:-0,53^b$)

Tabla 36.
Correlación de Pearson y nivel de significación.

	Variables estudiadas en cámara de oreo rápido									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Ritmo de sacrificio	/									
2. Duración del oreo	-0,68 ^a	/								
3. T^a cámara (entrada)	0,74 ^a	-0,84 ^a	/							
4. T^a cámara (salida)	0,99 ^a	-0,71 ^a	0,79 ^a	/						
5. HR cámara (entrada)	-0,07 ^{ns}	-0,65 ^a	0,49 ^b	-0,02 ^{ns}	/					
6. HR cámara (salida)	0,59 ^b	0,13 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,57 ^b	-0,69 ^a	/				
7. T^a canal (entrada)	0,22 ^{ns}	0,29 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,63 ^a	0,55 ^b	/			
8. T^a canal (salida)	0,78 ^a	-0,53 ^b	0,46 ^c	0,76 ^a	-0,12 ^{ns}	0,39 ^c	0,46 ^c	/		
9. CE canal (entrada)	-0,16 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	/	
10. CE canal (salida)	-0,14 ^{ns}	0,56 ^b	-0,35 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,59 ^b	0,42 ^c	0,30 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,68 ^a	/

Nivel de significación; a: $p < 0.0001$, b: $p < 0.001$, c: $p < 0.05$, ns: $p > 0.05$ (no significativo)

La eficacia frigorífica es mayor cuanto mayor es el tiempo de exposición a las condiciones reinantes en la sala de oreo rápido. Los coeficientes obtenidos entre la duración del oreo con la temperatura ($r: -0,53^b$) y la CE ($r: 0,56^b$) de la canal a la salida de la cámara, así lo corroboran.

La temperatura de la canal al final del oreo presento además, una buena correlación con la temperatura a la salida de la cámara ($r:0,76^a$), tal como era de esperar, y bajos coeficientes con la temperatura de la cámara al inicio ($r:0,46^c$) y la HR de la sala al final del oreo ($r:0,39^c$). Esto demuestra que conforme la canal es peor refrigerada, la tendencia es a elevarse la HR y la temperatura de la sala, a pesar de no ser del todo determinante sobre la temperatura final de la canal, al comprobar que existen otros factores que también pueden influir. Ello conduce al hecho de que conforme el choque térmico es más intenso al iniciar la refrigeración, mejores resultados finales proporcionará.

Por todo ello, sería conveniente ajustar la estancia de las canales en el oreo con los ritmos de sacrificio, de modo que se pueda garantizar un tiempo de oreo mínimo de 90 min, así como unas condiciones frigoríficas apropiadas (temperaturas bajas, humedad relativa medias sin llegar a la saturación, velocidad del aire elevada, etc.) que permitan la obtención de canales lo suficientemente refrigeradas como para asegurar una buena calidad de la carne.

5.2.3.3. Influencia del deshielo de la cámara de oreo rápido sobre la temperatura de la canal y la calidad de la carne.

Introducción y objetivo

Durante la refrigeración industrial de las canales, el trabajo continuo de los equipos frigoríficos para conseguir bajas temperaturas durante el oreo rápido, en combinación con la elevada humedad relativa que se genera por la sucesiva evaporación de agua de la superficie de las canales calientes, conducen inevitablemente a la formación de placas de hielo sobre los condensadores del equipo frigorífico, e incluso sobre los circuitos de conducción y rejillas de expulsión del aire, mermando la capacidad de estos aparatos para reducir la temperatura de la canal en el menor tiempo posible.

Además, las placas de hielo son el origen de graves averías en los equipos frigoríficos, debido al sobreesfuerzo al que se ven sometidos en tales circunstancias. Para evitar este inconveniente, la mayoría de los modernos equipos de refrigeración llevan incorporados sistemas automáticos que se activan periódicamente, para favorecer el deshielo o desescarche de aquellas zonas donde se forman habitualmente las placas de hielo, generalmente mediante aplicación de aire o agua caliente.

El objetivo planteado fue conocer la capacidad de refrigeración de la cámara durante el deshielo de los condensadores, y sus consecuencias sobre la calidad de la carne.

Diseño experimental

El sistema de circulación de las canales en el interior de la cámara de oreo rápido, ha sido descrito en el apartado 4.5. Esta cámara se caracteriza por poseer tres filas de potentes refrigeradores que proyectan el aire frío hacia el suelo y paredes, para que revoque y no alcance directamente a las canales.

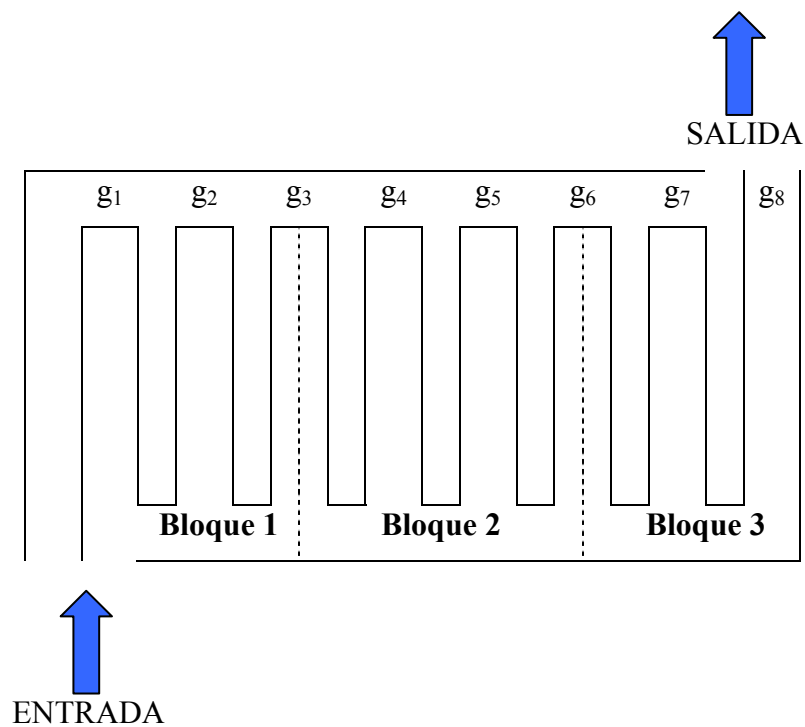
Estos equipos frigoríficos realizaban dos desescarches al día, uno por la mañana y otro por la tarde, con una duración aproximada de 30 min cada uno y una elevación media de la temperatura de trabajo de 10°C, para lo cual, se desactivaban todos los equipos frigoríficos a la vez, no de forma alternativa, mientras la cadena de conducción de canales era detenida.

Se estudiaron 382 canales de cerdo que permanecieron en el oreo rápido tras la parada de la cadena que se produce diariamente durante el descanso del personal, las cuales quedaron expuestas al deshielo de los condensadores durante 30 min. Estas canales fueron marcadas y numeradas conforme quedaban expuestas a los giros de la cadena de conducción. De este modo, aquellas canales expuestas al giro de cadena número 1, correspondiente al giro más próximo a la entrada de la cámara, se marcaron con el número 1, y de la misma manera hasta llegar al giro de cadena más próximo a la salida (giro 8), se marcaron todas la canales expuestas a dichos giros (Figura 68).

Se realizaron las medidas de temperatura profunda y conductividad eléctrica (CE) de la canal, a la salida del oreo rápido, sobre las 382 canales que previamente fueron marcadas y numeradas en los diferentes giros de la cadena de conducción. Los valores medios de temperatura y CE fueron agrupados para cada uno de los giros de la cámara.

Para estudiar la influencia del deshielo sobre la temperatura y la calidad final de la canal, se estableció una separación teórica de la cámara por bloques, numerados del 1 al 3 (Figura 68).

Figura 68.
Diseño del oreo rápido.



El bloque 1 correspondió a la zona de la cámara en la cual se encontraban las canales que habían entrado en último lugar al oreo antes de la parada de la cadena, y que por consiguiente, debían estar más calientes que el resto de canales en el momento de producirse el deshielo de los condensadores.

Los bloques 2 y 3 correspondieron al centro y parte final de la cámara, respectivamente. En ellos, se encontraban las canales que ya habían sufrido un choque térmico previo, de unos 30-60 min, y que por tanto, debían presentar un gradiente de caída térmica mayor, conforme se acercaban a la salida de la cámara. El bloque 1 estaría representado por los giros 1 y 2, el bloque 2 por los giros 3, 4 y 5, y el bloque 3 por los giros 6, 7 y 8.

Resultados

Como muestra la Tabla 37, los valores medios de temperatura y de CE fueron mayores en el bloque 1 de la cámara que en el bloque 3.

Tabla 37.
Valores medios de temperatura y CE en la canal.

	Temperatura		CE
	N	M±D	M±D
g ₁	53	36,5±0,44	5,3±2,57
g ₂	58	35,7±1,56	5,1±1,87
g ₃	47	35,4±1,57	4,9±2,57
g ₄	50	35,2±1,75	4,3±1,08
g ₅	41	34,0±2,16	4,2±1,04
g ₆	38	33,6±2,78	4,3±1,24
g ₇	44	31,7±3,21	4,7±2,22
g ₈	51	31,2±3,24	4,9±1,89
Bloque 1	111	35,9±1,33	5,2±2,17
Bloque 2	138	34,9±1,88	4,4±1,75
Bloque 3	133	32,1±3,21	4,6±1,79

M±D: Media ± desviación típica

Como cabría esperar, las canales más calientes se encontraban al inicio de la cámara (bloque 1), siendo este grupo de canales las que menos se refrigeraron al final del ciclo. Este incremento de casi 4°C en la temperatura profunda de las canales sometidas a 30 min de desescarche, se correspondió con un incremento de la CE en la carne, más acusado en aquellas canales sometidas durante menos tiempo a condiciones de oreo (bloque 1).

Diversos de autores (Fernández *et al*, 1994; Eilert, 1997; Grandin, 2000) han descrito esta asociación entre una deficiente refrigeración de la canal, en este caso provocada por el deshielo del equipo de refrigeración, y el desarrollo de una elevada CE, y en consecuencia, de carnes exudativas.

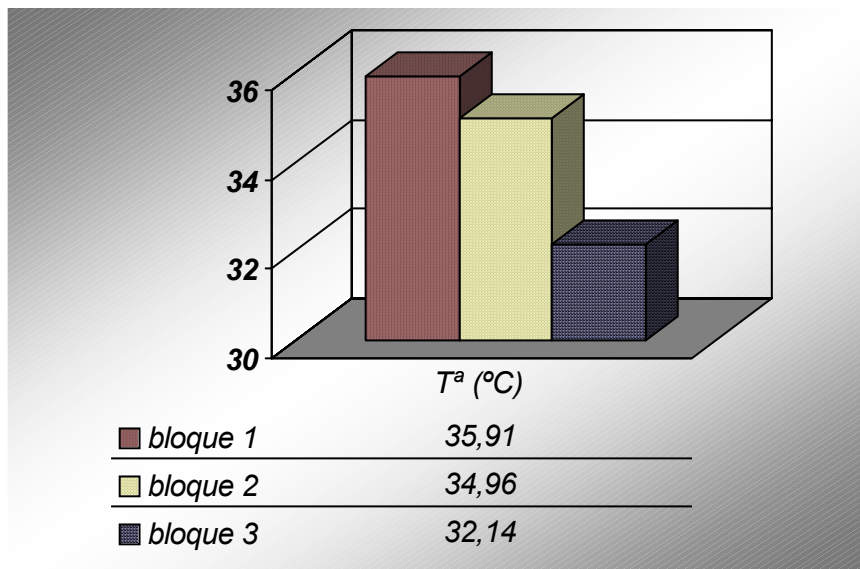
Por su parte, es significativa la desviación estándar de la temperatura en la canal, la cual se iba elevando conforme más intensa era la refrigeración. Esto indicaría que existen pocas diferencias de temperatura entre las canales recién sacrificadas y, que por contra, al ser sometidas a unas condiciones de oreo inadecuadas, el enfriamiento de la canal estaría más influenciado por factores individuales, como el peso y el contenido graso, que por el efecto frigorífico de la cámara.

La desviación estándar de la CE es algo mayor en bloque 1 que en bloques 2 y 3. De este modo, la mayor dispersión de los valores de CE a 35-40 minutos postsacrificio (entrada oreo rápido), como consecuencia de las diferencias en el metabolismo *pos tmorten*, tienden a disminuir a partir de la mitad del oreo rápido (bloques 2 y 3).

En suma, tal y como se observa en la Figura 69, la temperatura de las canales tras el oreo, cuya entrada a la cámara coincide con un período de deshielo de los condensadores (bloque 1), es mayor que en aquellas otras canales que han sufrido al menos cierto choque térmico previo al deshielo (bloques 2 y 3).

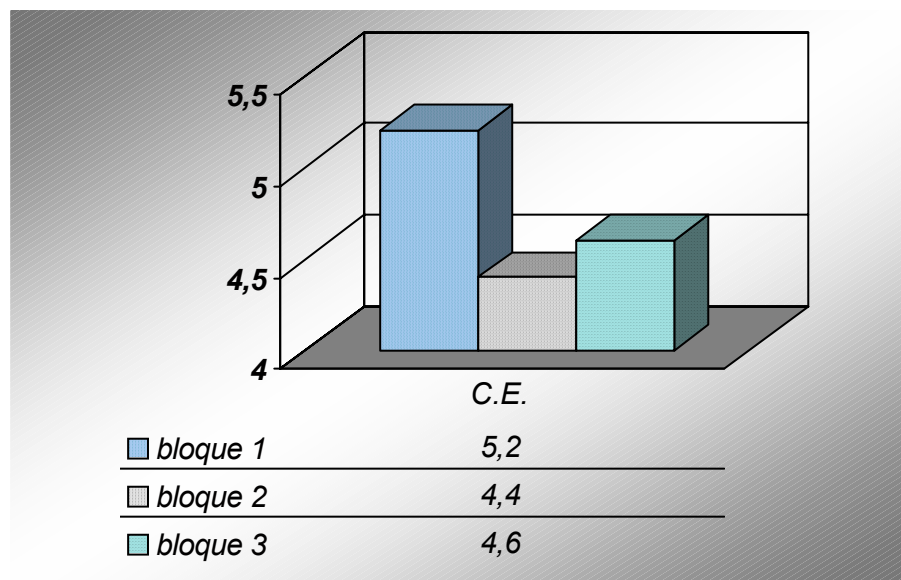
Esto indica que los sistemas de deshielo que afectan a todos los refrigeradores a la vez, con parada total del sistema de conducción, provocan deficiencias en la refrigeración de parte de las canales que circulan por la línea de sacrificio.

Figura 69.
Evolución de la temperatura de la canal en el oreo rápido.



Por otro lado, como se observa en la Figura 70, la CE de las canales recién entradas a la cámara (bloque 1) es mayor que en el resto de canales de la cámara (bloques 2 y 3), con lo cual, si no se asegura un rápido choque térmico, antes de 1 hora a más tardar, puede verse favorecido el desarrollo de carnes exudativas en aquellas canales potencialmente susceptibles.

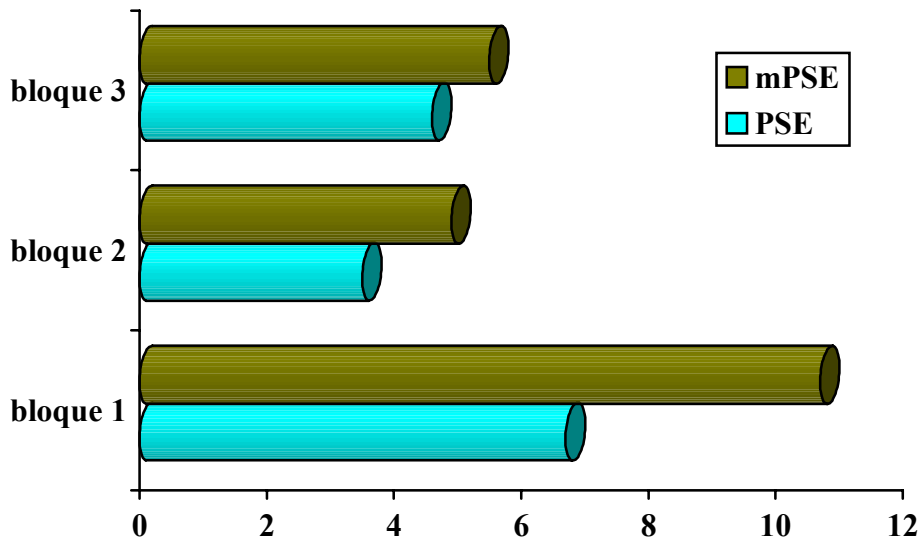
Figura 70.
Evolución de la CE durante el oreo rápido.



A la vista de los resultados, debemos decir que el sistema de deshielo en el oreo rápido con parada simultánea de todos los condensadores no garantizaría la correcta refrigeración de aquellas canales que entran en último lugar a la cámara. Como ya se ha advertido, aumenta el riesgo de desarrollar carnes exudativas, disparando los índices de carnes PSE y mPSE (Figura 71).

Por este motivo, sería aconsejable incorporar sistemas que realizasen alternativamente el desescarche de los condensadores, evitando así tener que parar la cadena de conducción por completo, a la vez que paliaría la deficiente refrigeración de las canales que entran en último lugar al oreo (bloque 1).

Figura 71.
Porcentaje de carnes exudativas, según las zonas del oreo rápido.



También sería interesante diseñar cámaras de oreo con separación por tabiques o paneles desmontables, de modo que formasen secciones sometidas a condiciones de refrigeración controladas de forma independiente, pudiendo dirigir el paso de canales por una sección u otra en función a donde tenga lugar el proceso de desescarche, o trabajar con todas las secciones cuando el equipo frigorífico esté funcionando a pleno rendimiento. De este modo, se podría minimizar el efecto del desescarche o de las paradas por averías, sobre el enfriamiento de las canales.

Otra alternativa sería trabajar a velocidades más bajas durante más tiempo, sin necesidad de detener el equipo de refrigeración. En este sentido, Kondjoyan y Daudin (1997) sugieren velocidades de aire bajas y homogéneas para controlar la intensidad de las turbulencias del chorro de aire en los refrigeradores, y de este modo poder reducir la temperatura del aire y mejorar el enfriamiento de las canales.

VI. RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

Dada la importancia de las diferentes fases que engloban la recepción de los animales en el matadero, su estabulación, el proceso de sacrificio, el faenado y la refrigeración posterior de las canales, y su más que probable incidencia en los parámetros de calidad en la carne, parece conveniente establecer una serie de recomendaciones prácticas fundamentadas en las referencias bibliográficas y en los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados a lo largo de este trabajo.

El objetivo que se busca con ello es poder contribuir a mejorar la tecnología del sacrificio del ganado porcino, incluido el diseño de procesos, maquinaria e instalaciones, así como, establecer unas pautas enfocadas al bienestar animal y a la mejora de la calidad de la carne obtenida.

6.1. Fase *ante mortem*

6.1.1. Control de proveedores

El control de proveedores es de vital importancia para poder planificar apropiadamente la compra de animales y ajustar las condiciones de transporte y sacrificio de los mismos.

Ello implica, controlar la genética de los animales que producen y los cruces a que son sometidos, la alimentación y la composición de piensos, las condiciones higiénico sanitarias las granjas, el control de residuos y su eliminación, el bienestar animal y la manipulación a que son sometidos durante procesos críticos como la carga a los camiones, entre otros.

En este sentido, con el fin de evitar problemas derivados del manejo de los animales, sería conveniente utilizar líneas porcinas más resistentes al estrés y de mayor homogeneidad genética, a pesar de que ello implique la obtención de canales menos conformadas y de menor rendimiento productivo, pues el uso de cruces heterogéneos entre machos finalizadores y hembras híbridas con el objeto de mejorar la calidad tecnológica de la canal, si bien, reporta beneficios considerables en el contenido magro y tejido graso de la canal, por el contrario, produce mermas sustanciales en la calidad de la carne producida.

6.1.2. Retirada del pienso

Se recomienda retirar el pienso entre 12 y 18 h antes de la carga a los camiones, en aquellos animales que van a ser sometidos a transportes moderados o largos, para evitar bajas durante el transporte y reducir los problemas de contaminación de las canales derivados de la manipulación de intestinos y estómagos repletos de alimento. Resulta poco aconsejable alimentar a los animales durante las 10-12 h previas al transporte al matadero, pues además de favorecerse la aspiración del propio vómito del animal durante el viaje, no se producen ganancias de peso en la canal, se incrementa el riesgo de contaminación durante la evisceración posterior, y se tiende a incrementar el defecto PSE en la carne. Por su parte, también se deben evitar los ayunos superiores a 18-24 h con el fin de controlar el desarrollo de carnes DFD.

6.1.3. Carga de los animales

Se recomienda el uso preferente de cargadores hidráulicos para realizar la carga de los animales en cualquiera de los pisos de los camiones. Estos sistemas reducen considerablemente el estrés y la fatiga de los animales.

Para el piso inferior, o camiones de un solo nivel, también se pueden utilizar suaves rampas con ángulos máximos de inclinación de 15°-20°, sin que en ningún caso se formen rampas excesivamente inclinadas y se superen los 30°.

En el caso de usar rampas de baja inclinación y con el objeto de facilitar dicha operación, las rampas deberán permitir el paso de 2 ó 3 cerdos a la vez, estar construidas con material antideslizante y, en caso necesario, equipadas con protecciones laterales, debiendo permanecer el camión bien iluminado durante la carga de los animales. En cuanto al tiempo recomendado para llevar a cabo la carga de los animales, este no debe ser superior a 1 h.

6.1.4. Transporte

En líneas generales, se aconseja realizar transportes de moderado recorrido (<100 km), inferiores a 1 h de duración y sin paradas durante el mismo, pues son los que mejores índices de calidad reportan.

Por el contrario, no se aconseja realizar transportes de largo recorrido (300-400 km) superiores a 3-4 h de duración en combinación con periodos de ayuno superiores a 18-20 h, ya que en tal caso se producen incrementos de carnes DFD, como consecuencia de una depleción del glucógeno muscular, así como tampoco, realizar transportes de recorrido escaso (<10-15 km), en combinación con un manejo inadecuado de los animales, pues ello conduce a en una mayor tendencia del defecto PSE, dado el escaso tiempo de adaptación que experimentan los animales tras las operaciones de carga, transporte y descarga.

Por otro lado, de acuerdo con el Real Decreto 1041/97 de 27 junio y la Directiva Europea 95/29/EC No. L340/17, la densidad de carga para cerdos de 100 kg transportados por carretera no deberá superar los 235 kg/m² (0,425 m²/100 kg de peso). Por lo tanto, se deben evitar densidades de carga excesivamente altas (321 kg m⁻¹ ó 0,31 m²/100 kg), pues afectan de forma negativa a la salud y el bienestar animal, al verse favorecido un mayor grado de estrés en los animales, siendo aconsejable no superar las 3-4 h de viaje en los casos en que la densidad de carga sea moderadamente alta (281 kg m⁻¹ ó 0,35 m²/100 kg).

Por otro lado, se debe prestar especial atención a las condiciones ambientales de temperatura y humedad en los habitáculos donde viajan los animales, particularmente en viajes largos, garantizando su regulación mediante la correcta ventilación de los vehículos durante el movimiento. En este sentido, las paredes del camión deberán estar diseñadas de tal modo que se favorezca la correcta ventilación del habitáculo. La temperatura recomendada en el interior debe estar comprendida entre los 26 y 31°C, y la temperatura del aire no excederá de 30°C. Por su parte, se aconseja realizar el transporte de porcino a una temperatura ambiente comprendida entre 10°C y 18°C, teniendo para ello, la precaución de reducir al máximo los viajes en las horas centrales del día, o incluso en la época estival, durante gran parte del mismo.

6.1.5. Descarga de los animales

La descarga de los animales a su llegada al matadero debe hacerse lo antes posible, evitando las demoras innecesarias. Para ello, resulta apropiado realizar un control de entradas lo suficientemente riguroso como para evitar, por un lado, la entrada masiva de camiones a unas horas concretas del día, y por otro, las descargas apresuradas al escasear el número de animales en las cuadras y tener que sacrificarlos sin apenas reposar.

Además, es aconsejable realizar la espera en zonas protegidas del sol, o en su defecto, aplicar duchas de agua directamente sobre los animales, para evitar situaciones indeseables como el golpe de calor o el estrés. Dicha descarga deberá realizarse con elevadores hidráulicos o mediante rampas tan horizontales como sea posible, construidas a la altura de los diferentes niveles existentes en los camiones, evitando el uso de rampas lisas, o muy inclinadas, o la formación de escalones entre el elevador hidráulico y la plataforma, pues tanto unas como otras no garantizan la seguridad de los animales.

6.1.6. Estabulación

Con el fin de recuperar las condiciones fisiológicas perdidas y favorecer la relajación de los animales, durante la estabulación será necesario llevar a cabo una serie de normas que garanticen el bienestar animal. Así, en los procesos de descarga y traslado a los corrales, se evitara el manejo inadecuado como el uso indiscriminado de porras, palos u objetos similares. Una vez en los corrales, será conveniente aplicar duchas a los animales durante 10-15 min con agua a temperatura ambiente, y administrar agua “ad libitum” durante toda la estabulación. También será preciso disponer de una correcta ventilación de los corrales, y evitar toda clase de factores que generen estrés durante el reposo (ruidos, altas temperaturas, insolación, etc.).

Por otra parte, resulta conveniente disponer de espacio suficiente mediante el uso de puertas o muros separadores suficientemente móviles, con el fin de ajustar la superficie del corral al tamaño de los lotes, y evitar la mezcla de animales de distinto origen en la misma cuadra.

Como periodo de estabulación más apropiado, se recomienda un descanso mínimo de aproximadamente 3-4 h, sin llegar a superar las 8-9 h de reposo. Tampoco son recomendables, tanto los reposos mínimos, como los de larga duración, pues ambos aumentan la agresividad y el grado de estrés de los animales, incidiendo negativamente en la calidad final de la carne. En este sentido, se deberá evitar al máximo la combinación de transportes de largo recorrido (más de 3-4 h ó más de 300-400 km) con la estabulación de los animales más de 10-12 h, pues ello lleva implícito alcanzar periodos de ayuno superiores a 24 h antes del sacrificio, que pueden aumentar la probabilidad de desarrollar carnes DFD. En tales circunstancias, resulta aconsejable administrar agua glucosada a los animales.

En el caso en que los animales deban ser trasladados desde los corrales hasta las zonas o cuadras de duchado previas al sacrificio, el acarreo deberá realizarse, igualmente, evitando palos, barras metálicas u otros artilugios que generen estrés en los animales. A su llegada a dichas cuadras, será conveniente aplicar duchas de agua fina, a una temperatura entre 15-20 °C durante aproximadamente 10-15 min, con el fin de relajar a los animales, favorecer la activación del sistema circulatorio, y reducir al máximo la capa de suciedad superficial.

6.1.7. Traslado de los animales a la sala de sacrificio

Es importante que las cuadras de espera se diseñen para facilitar el traslado de los animales a la nave de sacrificio, de modo que éste se realice por el camino más corto y seguro, evitando paradas, retrasos y giros innecesarios.

Los pasillos deberán estrecharse progresivamente hasta permitir el paso de un solo animal, desde dichas cuadras hasta las mangas de carga o la cuadra cargadora, según los casos.

Se debe prestar especial atención en no realizar operaciones innecesarias, como la inmovilización "a la fuerza" durante los procesos de contención previos al traslado, pues generan mucha tensión y estrés en los animales. En este sentido, resulta más apropiado el traslado de grupos de 6-8 animales que los grupos reducidos de 2-3 animales, pues en tal caso se requiere un mayor esfuerzo por parte del operario y los animales se ponen más nerviosos.

No es aconsejable superar el límite de carga para el que ha sido diseñado el corral cargador. La carga de un número excesivo de animales junto con el acarreo a que son sometidos en tales condiciones, pone en entredicho su integridad física, además, genera tal grado de estrés y tensión, que puede mermar todo el beneficio obtenido anteriormente mediante un adecuado manejo de los animales.

6.1.8. Aturdido de los animales

Según la Directiva 93/119/CEE, es premisa obligada que la técnica de aturdido a utilizar garantice el bienestar animal, produzca un aturdido instantáneo y que éste se prolongue hasta la muerte de los animales por desangrado. Por otro lado, se debe prestar atención al cumplimiento de las medidas de seguridad por parte de los operarios, cuidando su formación para una correcta aplicación y conservación de éstas técnicas y aparatos, con el fin de minimizar costes y problemas de calidad final.

6.1.8.1. Aturdido eléctrico

Respecto a la electronarcosis, se recomiendan los sistemas de aturdido eléctrico cabeza-pecho frente a los tradicionales sistemas de aturdido sólo-cabeza, a pesar de ser equipos que requieren una gran inversión económica y una mayor preparación de los operarios, por una serie de razones:

1- Reducción de estrés en los animales y de riesgos físicos para los operarios. **2-** Aplicación precisa y automática de los electrodos. **3-** Control exacto de los parámetros intensidad-duración de la descarga aplicada. **4-** Unificación de los procesos de inmovilización, avance, posicionado y aplicación de electrodos en la misma instalación. **5-** Obtención de unos índices de calidad en la carne bastante mejorados.

En caso de utilizar el aturrido tradicional sólo-cabeza, se proponen las siguientes recomendaciones con el fin de garantizar el máximo bienestar animal: **1-** Inmovilización separada de los animales, a ser posible, mediante sistemas de avance automáticos tipo restrainer, con el fin de favorecer el correcto posicionado de los animales para la aplicación de los electrodos y posterior descarga eléctrica. **2-** Aplicar los electrodos en las posiciones oreja-ojo u oreja-oreja de cada lado de la cabeza, o entre la parte superior e inferior de la misma, pero nunca sobre el hocico o el pescuezo. **3-** Mantener los electrodos en contacto con el animal durante un tiempo prudencial, acorde con la intensidad de corriente utilizada (preferentemente del orden de 300 V durante 1,5 s, o de 150 V durante 3 s), aplicando descargas únicas y no repetitivas. **4-** Mantener en perfecto estado de conservación y limpieza la superficie de contacto de los electrodos.

6.1.8.2. Aturrido con CO₂

Independientemente del modelo de cabina de anestesia a utilizar, resulta conveniente alcanzar unas condiciones óptimas en la sala de sacrificio que permitan el correcto funcionamiento de estas instalaciones. Para ello, es recomendable construir salas de anestesia lo más aisladas posible del resto de dependencias del matadero, para poder reducir el número de agentes estresantes de los animales, tales como ruidos de corrales anexos, máquinas de sujeción, sistemas de conducción aérea, personal, etc., y a la vez, poder conseguir condiciones ambientales más propicias para su mejor funcionamiento.

En este sentido, el diseño debe contemplar una ventilación adecuada pero no excesiva, es decir, se deben evitar puertas, ventanas y accesos innecesarios a dicha sala, con el fin de evitar la formación de corrientes de aire que puedan alterar la distribución del CO₂ en el foso. Por otro lado, es importante mantener una temperatura ambiente igual o superior a 20°C, y en su defecto, cuando dicha temperatura fuese muy baja, favorecer el calentamiento del gas de anestesia en el punto de entrada al túnel, lo suficiente como para favorecer su correcta distribución por el foso.

Para asegurar unas condiciones de trabajo apropiadas en las cabinas de anestesia, se recomienda alcanzar una concentración máxima de CO₂ en el fondo del foso en torno a un 80%, una duración total de la anestesia de unos 90-100 s, sin llegar a superar los 120 s, no sobrepasar los límites de carga de las cestas, y realizar el aturdimiento separado entre cerdos de cebo y animales adultos reproductores.

En los sistemas giratorios (jumbo y combi), es preciso hacer girar la noria unos 4-5 min antes de empezar a trabajar y después del paso de animales adultos, con el fin de que se puedan restaurar las condiciones iniciales, y cuando se esté trabajando a pleno rendimiento, se deberá ajustar la cadencia del giro para que los animales permanezcan unos 15-20 s por nivel, y a la vez, se garantice una concentración de CO₂ proporcionalmente creciente conforme nos acerquemos al fondo del foso.

Los sistemas de elevación-inmersión (dip-lift) deberán garantizar la expulsión de CO₂ de forma progresiva hasta la saturación, una vez que los animales accedan al fondo del foso, y una correcta ventilación del mismo cuando los animales son expulsados, con el fin de que los siguientes animales no manifiesten signos de asfixia tras acceder a la cabina.

En líneas generales, se recomienda el aturcido con CO₂ frente a la electronecrosis, debido a que se ha podido constatar una mejora importante de la calidad de la carne y una reducción considerable de manchas de sangre en distintas zonas comerciales de la canal. No obstante, algunos autores recomiendan los sistemas de aturcido eléctrico cabeza-pecho, puesto que apenas encuentran diferencias de calidad respecto al aturcido con CO₂, mejorando incluso el bienestar de los animales.

6.1.9. Sistemas de conducción

Es conveniente que los sistemas de conducción aérea estén diseñados y adaptados al volumen y tipo de matanza predominante de cada industria. También se prestará especial atención a su estado de conservación, con el fin de evitar atascos y retenciones innecesarias que puedan afectar directamente a la calidad del producto final. Los sistemas automatizados deberán garantizar un ritmo de producción constante.

6.2. Fase *post mortem*

6.2.1. Degüello y desangrado

Tras el aturcido de los animales, éstos deberán ser izados y degollados en un tiempo máximo que no supere los 15-20 s. Al realizar el corte, se tomarán las debidas precauciones para evitar perforaciones de la tráquea o el esófago, con el fin de evitar complicaciones posteriores. Por este motivo, además de la preparación de los operarios, se recomienda la utilización de dos cuchillos de un solo filo, convenientemente desinfectados, uno para la piel y otro para el corte de vasos profundos.

Respecto al sistema a utilizar, se recomiendan los sistemas automatizados de extracción de sangre, principalmente desde un punto de vista sanitario, puesto que a pesar de ser instalaciones muy caras y que precisan de una mayor preparación por parte de los operarios, éstas reportan volúmenes de sangre algo mayores que cuando se utilizan cuchillos, y sobre todo, suponen una mayor asepsia de la sangre al incorporar sistemas de autolimpieza periódica y retirada de partidas de sangre ante la detección de cualquier anomalía.

El desangrado de los animales deberá ser lo más rápido y completo posible. Para ello, se deberán diseñar pasillos de desangrado lo suficientemente largos, o en su defecto, ajustar los ritmos de producción, para asegurar que los animales entren en parada cardíaca antes del escaldado.

6.2.2. Escaldado

Para garantizar las máximas condiciones higiénicas del escaldado por inmersión, es recomendable aplicar duchas de agua antes de la entrada de los animales, con el fin de eliminar restos de suciedad y coágulos de sangre en la herida del degüello.

Además, será preferible utilizar sistemas de renovación constante del agua, a utilizar sistemas cerrados que precisan del uso de sustancias químicas antiespumantes para evitar el acumulo de espumas que dificultan el pelado posterior. Al finalizar la sesión de trabajo, estas instalaciones deberán ser vaciadas por completo, limpiadas y desinfectadas minuciosamente.

La temperatura del agua deberá ajustarse a 60-62°C, no siendo aconsejable que se superen los 67-68°C, o que no se alcancen los 58-60°C. En estas condiciones de temperatura, la duración del escaldado será de unos 5-6 min, y no excederá de los 7-8 min.

Se deberá prestar especial atención a que los animales entren en parada cardíaca a la cuba, con el fin de evitar la aspiración de líquidos a los pulmones.

La mejor alternativa a los sistemas de escaldado por inmersión y pulverización con agua son los sistemas de escaldado por vapor de agua condensada, independientemente del tipo a utilizar, dado que éstos superan a los anteriores en cuanto a índices de higiene, consumo, seguridad, adaptación y prestaciones en el escaldado.

6.2.3. Pelado

Las operaciones de pelado de los animales deberán realizarse de forma inmediata tras el escaldado, a fin de evitar la pérdida rápida de calor en superficie. Por este motivo, en caso de realizar las dos operaciones de forma independiente, se tendrá la precaución de que no estén excesivamente separadas y de que dicha zona no quede en la confluencia de accesos (puertas, ventanas, otras dependencias, etc.) que puedan ser origen de la pérdida de calor. En este caso concreto, las unidades de pelado independientes deberán estar ligeramente inclinadas para favorecer la expulsión de los animales.

Las condiciones óptimas de trabajo en las cabinas de pelado varían según el escaldado y las características de los cerdos (pelo, tamaño, etc.). Se recomienda un pelado de 30-40 s, aplicando un lavado constante con agua a 58-60°C. Si en tales condiciones el resultado no fuese el adecuado, sería conveniente emplear una escala subjetiva de grados de pelado, basándose en la presencia o no de restos de pelos en las zonas de fácil y difícil acceso, con el fin de poder modificar rápidamente los parámetros utilizados y corregir las deficiencias.

6.2.4. Flagelado, flameado y apurado final

Resulta conveniente aplicar de nuevo una ducha de agua tras el pelado de los animales para ayudar a eliminar los pelos que han quedado en superficie. El flagelado posterior deberá ser intenso e ir acompañado de baños de agua constantes. La duración de dicho proceso rondará los 50-60 s. Se prestará especial atención al ajuste de los rodillos internos con el fin de evitar desgarros en la piel.

De forma casi inmediata, se aplicará a los animales el flameado que, independientemente del tipo de sistema a utilizar, deberá garantizar una intensidad de calor o temperatura suficiente como para provocar el chamuscado de los pelos. Las condiciones de trabajo en hornos de flameado alimentados con llama de gas son 6-8 s a 900-1000°C por cerdo. Se recomienda pasar de forma inmediata a las cabinas de apurado final con baños de agua a temperatura ambiente, con el fin de disipar gran parte del calor superficial retenido en la fase anterior. Para tal fin, resultan suficientes unos 60 s de duración en ésta fase.

Es importante que todos estos procesos que acontecen tras el degüello del animal transcurran dentro de unos márgenes muy precisos y definidos, pues desviaciones pequeñas pueden comprometer la calidad de la canal. Resulta conveniente que no transcurran más de 30-35 min entre el degüello y el inicio del eviscerado, y que la velocidad de la cadena de conducción trabaje a un ritmo moderado, con el fin de evitar complicaciones durante las diferentes fases estudiadas.

6.2.5. Faenado, peso y clasificación de canales

Las diferentes operaciones de faenado de la canal deberán hacerse sin demora tras el paso por la fase de sacrificio, quedando concluida dicha fase en unos 15-20 min, sin llegar a superar los 30 min.

Durante la operación de eviscerado de la cavidad abdominal se deberá tener la precaución de no romper el paquete intestinal y/o el estómago, con el fin de que su contenido no salga al exterior y pueda contaminar al resto de la canal.

Las instalaciones deberán estar perfectamente adaptadas al sacrificio de diferentes tipos de animales (cerdos de cebo y animales reproductores, sobre todo) a fin de facilitar las distintas operaciones. Se deberá prestar especial atención a la formación del personal en el uso de los diferentes utensilios de corte, así como, en el cumplimiento de las diferentes medidas de higiene y seguridad, necesarias para el apropiado funcionamiento de éstas instalaciones.

El peso y la estimación del porcentaje magro de la canal deben realizarse antes de su entrada a las cámaras de refrigeración, con cualquiera de los reflectómetros autorizados para la clasificación de canales (FoM; Fat-o-Meter, HGP; Hennessy Grading Probe, y DEST; Destron PG 100). Se recomienda la debida formación del personal encargado de realizar dichas medidas, con el fin de establecer una correcta clasificación S-EUROP de las canales, así como el poseer una adecuada preparación para el establecimiento de una clasificación subjetiva EBRM más acorde con el procesado tecnológico posterior de las carnes.

6.2.6. Enfriamiento de las canales

Para que las carnes refrigeradas presenten unas características óptimas de calidad, es recomendable que cumplan al menos tres requisitos. **1-** Partir de un producto sano con una reducida carga microbiana. **2-** Aplicar frío tan pronto como sea posible (refrigeración rápida). **3-** Mantener la acción del frío de forma constante (cadena de frío).

La refrigeración de las canales de cerdo tiene dos premisas básicas, que deberán tenerse en cuenta si no se quiere ver reducida la aptitud tecnológica de la carne. Por un lado, la refrigeración deberá iniciarse poco tiempo después del sacrificio del animal, como máximo 60 min, con el fin de evitar la combinación de altas temperaturas y fuertes caídas del pH, principalmente en aquellas canales más predisuestas, que lleven hacia una mayor exudación de líquidos y un mayor desarrollo PSE.

Por otro lado, la fase inicial de choque térmico a la que se sometan las canales deberá ser relativamente corta, como máximo 120 min, con el fin de evitar fenómenos tales como la aparición de signos de resecado externo de las superficies musculares, o incluso, de signos de congelación externa, que incidirían directamente sobre la exudación de líquidos, determinando un menor rendimiento de la canal.

Por otro lado, se aconseja una refrigeración polifásica frente a una estática, puesto que en tal caso se consigue una velocidad de enfriamiento mucho más rápida, esto es, se consigue reducir el tiempo en alcanzar la temperatura óptima en el centro de la masa muscular de la canal, aumentando los beneficios del enfriamiento rápido, disminuyendo las pérdidas de peso y ahorrando infraestructura. Dentro de éstos, los sistemas de enfriado divididos en tres fases, han mostrado ser muy eficaces en la caída térmica de la canal y en la mejora de los parámetros de calidad de la carne.

En una *primera fase de oreo rápido* recomendamos los siguientes parámetros de trabajo: duración: 90 min; T^a: 0±2°C; HR: 85-90 %; velocidad del aire: 3-5 m s⁻¹. En esta fase resulta conveniente que las salas dispongan de sistemas de convección eficaces, permitiendo reducir el tiempo necesario para alcanzar la temperatura óptima de conservación, así como, las pérdidas de peso en la canal.

Para ello, los túneles de enfriado no deben ser excesivamente largos, sino más bien cortos y anchos, para garantizar el retorno de la corriente de aire a los refrigeradores, permitiendo así ajustar la potencia frigorífica y la conducción del aire a las condiciones de espacio disponible. Además, es preciso controlar la conducción del aire mediante la colocación de pantallas guía, construcción de falsos techos con orificios o la colocación de los condensadores en diferentes posiciones, con el fin de optimizar los procesos de enfriamiento.

También resulta conveniente ajustar la estancia de las canales en el oreo con los ritmos de sacrificio, de modo que se garantice una media de 90 min de tratamiento. En este sentido, no se aconseja utilizar una velocidad de cadena excesivamente alta pues con ello no se consigue una correcta refrigeración de la canal, y además, se compromete seriamente la calidad de la carne.

Dada la incidencia negativa que tienen los procesos de desescarche de los condensadores sobre el enfriamiento de las canales y la calidad de la carne, debemos aconsejar la incorporación de sistemas que permitan realizar alternativamente dicho desescarche, evitando así tener que parar la cadena de conducción por completo. Ello permitiría mejorar la refrigeración de las canales que entran en último lugar al oreo cuando estos sistemas están activados. En este sentido, sería interesante diseñar cámaras de oreo con separación por tabiques o paneles desmontables, de modo que formasen secciones sometidas a condiciones de refrigeración controladas de forma independiente (secciones A_1 , A_2 , B_1 , B_2), pudiendo dirigir el paso de canales por una sección u otra en función de donde tenga lugar el proceso de desescarche, o trabajar con todas las secciones cuando el equipo frigorífico esté funcionando a pleno rendimiento (Figura 72). De este modo, se podría minimizar el efecto del desescarche o de las paradas por averías, sobre el enfriamiento de las canales.

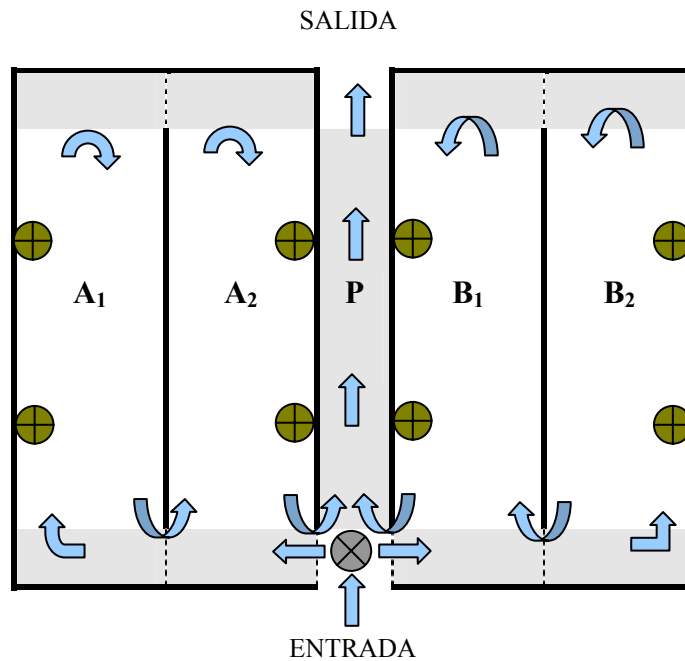
Figura 72.

Propuesta de diseño de un oreo rápido dividido en secciones con desescarche independiente.

P: Pasillo de salida a resto de cámaras. Punto de medida 2 h.

⊗ Sistema de distribución de canales controlado por ordenador.

➡ Flujo de animales. ● Refrigeradores



Además, con estos sistemas de partición se puede prevenir que el vapor de agua liberado por las canales calientes que entran al principio precipite sobre las superficies frías de las canales que se encuentran en una fase avanzada de la refrigeración, y de este modo, evitar el deterioro de la superficie de las mismas.

En una *segunda fase de enfriamiento* se recomiendan las siguientes condiciones: duración: 4 h; T^a : 3-4°C; HR: 85-90%; velocidad del aire: 1,5 m s⁻¹, y en una *tercera fase de mantenimiento*, los siguientes: duración: 6 h; T^a : 4-6°C; HR: 85-90%; velocidad del aire: 0,5 m s⁻¹.

En todas estas fases, se prestará especial atención a que las condiciones de estiba sean las apropiadas para las dimensiones de la cámara y la capacidad frigorífica disponible, dejando una separación de al menos 0,5 m entre canales, y entre canales y la pared o el suelo, con el fin de facilitar el paso del chorro de aire frío. Por su parte, las variaciones habituales de humedad relativa en éstas salas (85-95%), no afectan apreciablemente a la velocidad de enfriamiento, pero es aconsejable que se mantengan elevadas para evitar mermas en la canal (del 1-3% en porcino).

Según la RTS, cualquier sistema o método de refrigeración que se utilice, debe garantizar que se alcancen 7°C de temperatura en el centro de las piezas más gruesas de la canal y 3°C en los despojos, en un tiempo máximo de 24 h de refrigeración.

6.3. Calidad de la carne

Para la industria cárnica, resulta prioritario poder detectar la calidad de la carne tan pronto como sea posible, mediante la utilización de medidas en línea en unos tiempos adaptados a la actividad en la planta, con el fin de poder adecuar la materia prima al procesado tecnológico que sea más apropiado.

De entre estas medidas, recomendamos aquellas basadas en la reflectancia interna del músculo, como el Fat-o-Meter, realizada a los 45 min *post mortem*, las medidas de conductividad eléctrica (CE) a las 2 h tras el oreo rápido de las canales y de pH a 8 h tras el mantenimiento refrigerado de las canales. La sonda FoM, permite estimar de forma rápida la aptitud cárnica de la canal para su procesado tecnológico posterior, la medida de CE₂ es un buen estimador de carnes exudativas (PSE) y la medida de pH₈ es un indicador fiable para estimar carnes DFD.

Estas medidas mostraron una adaptación plena a la actividad del matadero, y supusieron un ahorro, tanto en el número de medidas a realizar, como en el tiempo mínimo de permanencia de las canales en cámaras frigoríficas, necesario para su categorización.

Por otro lado, resulta conveniente hacer uso de los indicadores objetivos de calidad, principalmente pH y CE, junto a estimadores subjetivos basados en la detección precoz de la rigidez muscular, con el fin de poder establecer una adecuada clasificación de las canales en matadero. En este sentido, creemos que el lugar y el tiempo más apropiado para la toma de medidas subjetivas serían a la salida del apurado final, una vez transcurrida toda la fase de sacrificio, aproximadamente a unos 15-20 min tras el degüello. Del mismo modo, se aconseja establecer una escala subjetiva para la estimación de los diferentes grados de rigidez, o bien, utilizar cualquiera de los aparatos desarrollados para tal fin, como el rigorómetro IVO o el medidor TLR, que siempre serán más precisos y cometerán menos errores.

VII. CONCLUSIONES

Primera

Las canales hembra tienden a desarrollar un mayor engrasamiento y una menor conformación que las canales macho, siendo más frecuente el desarrollo de carnes exudativas en las hembras y de carnes fatigadas en los machos.

Segunda

Con independencia de otros factores, los cerdos más magros y conformados, sacrificados con un menor peso vivo, tienen cierta tendencia a proporcionar carnes de peor calidad.

Tercera

El tiempo que permanecen los cerdos en reposo antes del sacrificio condiciona la calidad de la carne obtenida, al observarse un incremento de carnes exudativas en los grupos de mayor y menor reposo, y una escasa incidencia de carnes fatigadas en los grupos de menor reposo. Los mejores índices de calidad se obtienen en cerdos que reposan entre 4 y 7 horas.

Cuarta

La aplicación de anestesia con dióxido de carbono en norias giratorias precisa del movimiento constante de las cestas para mantener una correcta concentración de dióxido de carbono a diferentes niveles del foso. Durante el funcionamiento del sistema, dicha concentración puede verse alterada por factores, tales como corrientes de aire, ritmos diferentes de sacrificio, el tamaño de los cerdos o la temperatura ambiente, pudiendo comprometer el correcto aturdimiento de los cerdos, provocando un aumento de convulsiones, hemorragias, petequias y carnes exudativas.

Quinta

El uso de aturrido eléctrico mediante la aplicación de tenazas sobre la cabeza del animal conlleva una considerable merma de calidad de la carne, en comparación con la técnica de aturrido mediante dióxido de carbono, al provocar un incremento de carnes exudativas.

Sexta

La determinación temprana de diferentes grados de rigidez muscular en el miembro torácico de los animales se ha mostrado como un eficaz indicador subjetivo de la calidad de la carne, al permitir discriminar un alto porcentaje de carnes de baja calidad tecnológica.

Séptima

El pelado de los animales se ve afectado negativamente en aquellos casos en los que la superficie del animal se enfría rápidamente antes de entrar a la peladora, como consecuencia de invertir demasiado tiempo en recorrer el trayecto entre el escaldado y el pelado, por quedar expuestas a la acción directa de corrientes de aire, o bien, en aquellos otros casos en los que la temperatura superficial de los animales se reduce como consecuencia de un escaldado insuficiente o un ritmo de sacrificio excesivo que sobrepasa la capacidad de la maquinaria e instalaciones estudiadas.

Octava

En aquellos casos en que el ritmo de sacrificio se eleva de forma que sobrepasa la capacidad frigorífica del sistema de oreo rápido, se detecta una significativa pérdida de calidad, al incrementarse el defecto exudativo de la carne, debido a una insuficiente refrigeración de los canales.

Novena

La diferencia de temperatura entre la zona profunda y superficial del músculo Semimembranoso originada por el sistema de oreo rápido empleado, determina un gradiente térmico que garantiza la rápida caída de temperatura profunda en las fases posteriores de refrigeración, siendo ésta mayor conforme aumenta dicha diferencia, de tal modo que al final del proceso frigorífico, los canales salen refrigerados dentro de los límites establecidos por la Reglamentación Técnico Sanitaria, sin llegar a alcanzar en ningún momento la temperatura crítica de putrefacción del hueso.

Décima

El desescarche simultáneo de todos los equipos frigoríficos ubicados en la cámara de oreo rápido provoca un incremento significativo de la temperatura de la cámara de hasta 10°C, provocando deficiencias en el enfriamiento de los canales, asociadas a una mayor incidencia de carnes exudativas.

Undécima

Con independencia del origen genético de los cerdos, la tecnología de sacrificio empleada permite obtener una calidad de carne aceptable, debido en gran medida a los sistemas de aturdimiento y enfriamiento empleados, junto con unas buenas condiciones de estabulación. Las deficiencias de calidad más importantes estarían provocadas por una mala planificación en el suministro de los animales, un manejo inadecuado de los cerdos, una falta de control sobre las condiciones de anestesia, un diseño y ubicación inadecuadas de algunas instalaciones o equipos, y especialmente, por trabajar a ritmos de sacrificio excesivamente altos que sobrepasan la capacidad frigorífica del sistema.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ALTMANN, M., LENGERKEN, G. von. (1991). Possibilities for prediction of carcass composition of pigs on the basis of easily-measured parameters. *Fleischwirtschaft* **71** (2): 199-201.
- ÁLVAREZ, C., TORRE, A. (1996) La conductividad eléctrica como sistema de detección de carnes de baja calidad en el proceso de elaboración de jamón cocido. *Eurocarne* no. **50**. 23-34.
- ALLEN, P. (1991). La calidad de la carne porcina. *Mundo Ganadero*, 1991 n°1.
- ANIL, M.H. (1991). Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning. *Meat Science* **30** (1): 13-21.
- ANIL, M.H., McKINSTRY, J.L. (1996). Variations in electrical stunning tong placement and relative consequences in slaughter pigs (submitted).
- ARMERO, E. (1998). Efecto del tipo genético porcino sobre los caracteres productivos, perfiles bioquímicos musculares y calidades de la carne fresca y el jamón curado. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- ARNAU, J., GUERRERO, L., CASADEMONT, G., GOU, P. (1995). Physical and chemical changes in different zones of normal and PSE dry cured ham during processing. *Food Chemistry*, **52**: 63-65.
- ARNAU, J., GUERRERO, L., GOU, P. (1992). La calidad de la carne para la elaboración del jamón curado. *Porci* N°**13**, 55-63.
- ARNAU, J., MANEJA, E., MONFORT, J.M. (1987). Estudio de la influencia de la carne PSE en el proceso de curación del jamón. *Cárnica* 2000 **48**, 77-84.
- AUGUSTINI, C., FISCHER, K. (1981). Treatment of slaughter pigs and meat quality a field experiment. *Fleischwirtschaft* **61**, 775-785.
- AUGUSTINI, C., FISCHER, K. (1982). In transport of animals intended for breeding, production and slaughter. *Curr. Topics Vet. Med. Anim. Sci.* 125-135.
- AUGUSTINI, C., FISCHER, K., SCHÖN, L. (1977). *Fleischwirt.* **57**, 2037-2043.
- AVERDUNK, G., REINHARDT, F., KALLWEIT, E., HENNING, M., SCHEPER, J., SACK, E. (1983). Comparison of various grading devices for pig carcasses. 34th Annual Meeting European Association of Animal Production, Paper 6.5
- BAK, T., WAJDA, S. (1994). Slaughter value of pigs purchased during summer and winter seasons. *IIInd Int. Conf. "The influence of genetic and non genetic traits on carcass and meat quality"*. Siedlce, 7-8 Nov.
- BAK, T., WAJDA, S. (1997). Slaughter value of porkers in relation to season and watering before slaughter. *Roczniki Instytutu Przemysłu Miesnego i Tluszczowego* **32/33**, 29-39.

- BAÑÓN, S. (1996). Calidad tecnológica de la carne destinada a la elaboración de jamón curado en la Región de Murcia y consecuencias de su transformación. Tesis Doctoral, Murcia. España.
- BAÑÓN, S. ÁLVAREZ, D. PEDAUYÉ, J. LAENCINA, J. GARRIDO, M.D. (1997c). Mejora del jamón curado mediante el control de la materia prima. *cárnica* 2000, p. 67-70.
- BAÑÓN, S. GARRIDO, M.D., PEDAUYÉ, J., SEGUÍ, J. (1996) Clasificación de perniles frescos para la elaboración de jamón serrano. *Eurocarne* no. **45**, p.29-35.
- BAÑÓN, S., GRANADOS, M.V., ÁLVAREZ, D., GARRIDO, M.D. (1997a). Efecto PSE en el jamón curado. *Eurocarne* **55**, 27-34.
- BAÑÓN, S., GRANADOS, M.V., CAYUELA, J.M., COSTA, E., GARRIDO, M.D. (2000). Calidad de la grasa obtenida a partir de cerdos magros. *Anales de Veterinaria de Murcia*. Vol **16**: pp77-88.
- BAÑÓN, S., GRANADOS, M.V., LAENCINA, J., GARRIDO, M.D. (1997b). Meat quality control for dry-cured ham processing. *Fleischwirtschaft Int.* **6**, 14-17.
- BARTON-GADE, P. (1991). Medidas de la calidad de la carne de porcino. Jornadas Científicas SEPOR'91. Lorca, 17-18 Septiembre 1991.
- BARTON-GADE, P.A. (1979). Some experience on measuring the meat quality of pig carcasses. *Acta Agric. Scand. Suppl.* **21**. 61-70.
- BARTON-GADE, P.A. (1980). Further investigations into relationships between measurements carried out on the slaughter line and pig meat quality the day after slaughter. 26th European Meeting of Meat Research Workers. Colorado Springs, USA. August 31st – September 5th.
- BARTON-GADE, P.A. (1984). Influence of halotane genotype on meat quality in pigs subjected to various pre-slaughter treatments . Proceedings 30th European Meeting of Meat Research Workers, Colorado. Langford: 8-9.
- BARTON-GADE, P.A. (1993). Effect of stunning on pork quality and welfare - Danish experience. Manuscript nº 1145 E, The Danish Meat Research Institute, Roskilde, Denmark, pp 1-12
- BARTON-GADE, P.A., BEJERHOLM, C. (1989). Early post mortem detection of PSE and intramuscular fat using the MQM-Equipment. Proceedings 35th International Congress of Meat Science and Technology. Copenague, Denmark. Vol. III: 1002-1005.
- BARTON-GADE, P.A., CHRISTENSEN, L. (1998). Effect of different stocking densities during transport on welfare and meat quality in Danish slaughter pigs. *Meat science* **48**, 237-247.

- BATLLE, N., ARISTOY, M.C., TOLDRÁ, F. (2000). Early postmortem detection of exudative pork meat based on nucleotide content. *Food Chemistry and Toxicology*. Vol. 65, No. 3, pp: 413-416
- BEM, Z., HECHELMANN, H. (1995). Chilling and refrigerated storage of meat. Microbiological processes. *Fleischwirtschaft International* 2, 25-33.
- BENDALL, J.R., WISMER-PEDERSON, J. (1962). *Journal Food Science* 27, 144.
- BLACKMORE, D.K., NEWHOOK, J.C. (1991). Insensibility during slaughter of pigs in comparison with other domestic stock. *New Zealand Veterinary Journal* 29: 219-222.
- BLENDL, H.M., PESCHKE, W., KNOTT, W., MATZKE, P., SAUERER, G., BRÜCKNER. (1986). Testing equipment for grading pork sides by the FOM and SKG II systems. 2. Grading and meat quality and the results obtained with the equipment. *Fleischwirtschaft* 66 (5): 908-912.
- BORCHERT, L.L., BRISKEY, E.J. (1964). Prevention of pale, soft, exudative porcine muscle through partial freezing with liquid nitrogen post-mortem. *Journal of Food Science*, 29, 203.
- BRANSCHIED, W., DEMPFLER, L., DOBROWOLSKI, A., SACK, E., HÖRETH, R. (1991) The pork grades: new techniques of instrumental grading. *Fleischwirtschaft*, 71 (4): 420-423.
- BRIESE, A. (1996). Beurteilung neuer elektrischer betäubungsverfahren für schweine. DVG-Tagung "Töten von tieren und kennzeichnung von tieren", Fachgruppe, Tierschutzrecht und gerichtliche veterinärmedizin, 14-15.3.1996 in Nürtingen, ISBN 3-930511-27-4, S. 53-66.
- BRISKEY, E.J., SAYRE, R.N., CASSENS, R.G. (1962). Development and application of an apparatus for continuous measurement of extensibility and elasticity before and during rigor mortis. *Journal of Food Science*, 27, 6.
- BROWN, S.N. (1992). A note on the use of subjective methods for assessing pig meat quality on the slaughterline. *Meat Science* 32, 195-202.
- BROWN, S.N., KNOWLES, T.G., MCKINSTRY, J.L., EDWARDS, J.E., ANIL, M.H., WARRISS, P.D. (1993). Patterns of response of some physiological indices of stress in pigs negotiating loading ramps. *Anim. Prod.* 56, 439 (Abst.).
- CALVAR, C., PELLOIS, H. (1987). La qualite de la viande de porc. Influence des conditions de transport, d'abattage et des types genetiques. Publication EDE, Juillet: 1-22.
- CAMPBELL, R.G., HARRISON, D.T., RICH, P. (1997). *Aust. Pig Sci. Assoc.* 242 (Abst.)

- CANNON, J.E., MORGAN, J.B., HEAVNER, J., MCKEITH, F.K., SMITH, G.C., MEEKER, D.L. (1995). Pork quality audit: A review of the factors influencing pork quality. *Journal of Muscle Foods* **6**, 369-402.
- CAPITA, R., ALONSO, C., GARCIA, M.T., GARCIA, M.C., MORENO, B. (1999). Aspectos de interés en la calidad microbiológica de la carne de pollo. *Eurocarne* nº**73**. 73-86
- CARBALLO, J. (1990a). Tratamientos frigoríficos de canales de cerdo en función de su calidad. *Alimentaria, equipos y tecnología*. pp. 87-90.
- CARBALLO, J.A. (1990b). La maduración de la carne. *Alimentación, Equipos y Tecnología*. nº**8**, 81-85.
- CARR, T.R. (1985). Slaughter factors that affect pork quality in the USA. *Pig News and Info*. **6**, 43-46.
- CASSENS, R.G. (2000). Historical perspectives and current aspects of pork meat quality in the USA. *Food Chemistry* **69**, 357-363.
- CLAUSEN, V. (1986). Experience with the Danish MQM equipment-technical aspects. *Procc. Commission of European Communities (CEC) Workshop: On line and non destructive methods to measure meat characteristics*, Theix, France.
- COMA, J., PIQUER, J. (1999). Calidad de carne en porcino: Efecto de la nutrición. *XV Curso de Especialización. Avances en nutrición y alimentación animal*.
- COOK, G.L., CHADWICK, J.P., KEMPSTER, A.J. (1989). An assessment of carcass probes for use in Great Britain for the EC Pig Carcass Grading Scheme. *Animal Production* **48**, 427-434.
- COSTA, L., LO FIEGO, D.P., DE GROSSI, A., RUSSO, V. (1996). Effect of loading method, stocking density and temperature on carcass and meat quality in heavy pigs. In *Proc. EU-Seminar New Information on Welfare and Meat Quality of Pigs as Related to Handling, Transport and Lairage Conditions* pp. 83-89 Mariensee, Germany.
- CRENWELGE, D.D., TERREL, R.N., DUTSON, T.R., SMITH, G.C., CARPENTER, Z.L. (1984). Effect of chilling method and electrical stimulation on pork quality. *J. Anim. Sci.* **59**, 697-705.
- CRUZ, J., BARREIRO, D. (2001). Situación actual de la industria cárnica en España. *Eurocarne* **95**, 23-31
- CHEVILLON, P. (1994). Le controle des estomacs de porcs a l'abattoir: le miroir de la mise au jeun a l'elevege. *Inst. Technique du Porc*. pp 11. Le Rheu, France.
- CHIN-WEN LIN, JENG-HUH YANG, YIH-JONG LIOU, (1998). Microbiological and chemical changes in porcine blood obtained by two collection systems. *Fleischwirtschaft International* **3**: 22-24

- CHIZZOLINI, R., DELBONO, G., NOVELLI, E., PONGOLINI, S., ROSA, P., (1993). Objective measurements of pork quality: Evaluation of various techniques. *Meat Science*, **34**: 49-77.
- DAUMAS, G. (1991). Clasificación de las canales porcinas en la CEE. Jornadas Científicas SEPOR'91. Lorca, 17-18 Sept.
- DAVIS, C.E., TOWNSEND, W.E., McCAMPBELL, H.C., (1978). Early rigor detection in pork carcasses by foreleg position. *Journal of Animal Science* **46**, 376-383.
- DAZA, A., CALLEJO, A. (1991). La calidad de la carne de porcino. *Mundo Ganadero*, no.1.
- DIESTRE, A. (1991a). Factores genéticos que afectan a la calidad de la canal y de la carne. *Prod. Porcina. Mundo Ganadero* **1**, 67-70.
- DIESTRE, A. (1991b). Principales problemas de la calidad de la carne en el porcino. Jornadas Científicas SEPOR'91. Lorca, 17-18 Sept.
- DIESTRE, A. (1992). Bases de clasificación de las canales porcinas. Aspectos generales. Situación en España. Simposio Internacional de Porcinocultura, SEPOR'92. Lorca, Murcia.
- DIESTRE, A. (1993). Influencia del periodo antemortem sobre la mortalidad, el bienestar animal y la calidad en la producción porcina. *Porci* **13**, 9-10.
- DIESTRE, A., ARPA, I. (1984). La investigación aplicada en la calidad de la canal y de la carne en el porcino. *Medicina Veterinaria* **1** (2): 69-84.
- DIESTRE, A., GISPERT, M., OLIVER, M.A. (1989). The use of automatic probes in the new scheme for pig carcass grading according to the EEC Regulations. *Animal Production* **48**, 443-448.
- DIESTRE, A., OLIVER, M.A., GISPERT, M. (1990). Métodos predictores de la calidad de la carne en el porcino: Dispersión Interna de la Luz y Conductividad Eléctrica. *Anaporc* **89**, 45-57.
- DIRECTIVA EUROPEA 64/433/CEE de 26 de junio y su modificación, Directiva 95/23/CEE de 22 de junio, relativas a problemas sanitarios en materia de intercambios de carne fresca y a la impresión de marcas sanitarias.
- DIRECTIVA EUROPEA 93/119/EC de 22 de diciembre, sobre protección de los animales en el momento del sacrificio.
- DIRECTIVA EUROPEA 95/29/EC de 29 de junio (No. L340/17), relativa a las condiciones de carga durante el transporte de animales.
- DJIKIC, M., JURIC, I., BOZAC, R. (1991). Relationship between slaughter weight and meatiness of pigs. *Agronomski Glasnik* **52** (6): 335-341.

-
- DRADSHAW, R.H., HALL, S.J.G. (1996). Incidence of travel sickness in pigs. *Veterinary Record* **139**: 503 (letter)
 - DRANSFIELD, E., LEDWITH, M.J., TAYLOR, A.A. (1991). Effect of electrical stimulation, hip suspension and ageing on quality of chilled pig meat. *Meat Science* **29**, 129-139
 - DRIESSEN, B., GEERS, R. (2000). Stress during transport and quality of pork. An european view. I Conferência Virtual Internacional sobre Qualidade de Carne Suína. Via Internet. Laboratory for quality care An. Prod, Lovenjoel, Belgium. 16 nov - 16 dic
 - DTI (Department of Trade and Industry), 1997. Foresight for food and drink-meat. Department of Trade and Industry, London.
 - EIKELENBOOM, G. (1988). Proceedings of meeting on pig carcass and meat quality. Unv. di Bologna, pp 199-211
 - EIKELENBOOM, G., BOLINK, A.H. (1991). The effects of feedstuff composition, sex and day of slaughter on pork quality. In Proc. 37th Int. Congr. Meat Sci. And Tech. 233-236, Kulmbach, Germany.
 - EIKELENBOOM, G., BOLINK, A.H., SYBESMA, W. (1989). Effect of fasting before delivery on pork quality and carcass yield. Proc. 35. ICoMST, Vol. III, 999-1005.
 - EIKELENBOOM, G., BOLINK, A.H., SYBESMA, W. (1991). *Meat Sci.* **29**, 25.
 - EIKELENBOOM, G., CAMPION, D.R., KAUFFMAN, R.G., CASSENS, R.G., (1974). Early postmortem methods of detecting ultimate porcine muscle quality. *Journal of Animal Science* **29**, 303.
 - EILERT, S.J. (1997). What quality controls are working in the plant? P. 59-63. In: Proc. Pork Quality Summit. July 8-9. National Pork Producers Council. Des Moines, IA.
 - ENFÄLT, A.C., LUNDSTRÖM, K., ENGSTRAND, U. (1993). Early postmortem pH decrease in porcine *M. longissimus dorsi* of PSE, normal and DFD quality. *Meat Science*, **34**: 131-143.
 - ENGLISH, P.R., FOWLER, V.R., BAXTER, S., SMITH, B. (1998). The growing and finishing pig: Improving efficiency. Farming press books: Ipswich, UK.
 - ERDÖS, T. (1943). *Stud. Inst. med. Chem. Univ. Szeged* **3**, 51.
 - ESSEN-GUSTAVSSON, B., KARLSTRÖM, K., LUNDSTRÖM, K. (1992). Muscle fibre characteristics and metabolic response at slaughter in pigs of different halotane genotypes and their relation to meat quality. *Meat Science* **31** (1): 1-11.

- FABREGAS, E., VELARDE, A., DIESTRE, A. (2001). El bienestar animal durante el transporte y sacrificio como criterio de calidad. Comunicación IRTA, Monells, Girona.
- FAUCITANO, L. (1998). Preslaughter stressors effects on pork: A review. *Journal of Muscle Foods* **9**, 293-303.
- FELDHUSEN, F., KÖNIGSMANN, D., KAUP, F.J., DROMMER, W., WENZEL, S. (1992). *Meat Science.*, **31**, 367.
- FERNÁNDEZ, P., JIMÉNEZ, F. (1992). Tratamiento y conservación de la carne por el frío. *Manual Práctico de la Carne*. Ed. Martín & Macias. Madrid, España.
- FERNÁNDEZ, X., FORSLID, A, TORNBERG, E. (1994) The effect of high postmortem temperature on the development of pale, soft and exudative pork: interaction with ultimate pH. *Meat Science* **37**, 133-147.
- FERNÁNDEZ, X., TORNBERG, E. (1991). *J. Muscle Foods* **2**, 29-35.
- FISCHER, K. (1996). Transport of slaughter animals. Effects, weaknesses measures. *Fleischwirtschaft* **76** (5): 521-526.
- FISCHER, K., AUGUSTINI, C., McCORMICK, R. (1986). *Fleisch.* **66**, 1659-1665.
- FISCHER, K., AUGUSTINI, C., McCORMICK, R. (1988). *Fleisch.* **68**, 485.
- FORREST, J.C., ABERLE, E.D., HEDRICK, H.B., JUDGE, M.D., MERKEL, R.A. (1979). *Fundamentos de la Ciencia de la Carne*. Ed. Acribia, Zaragoza. España.
- FORSLID, A. (1988). Workshop on stunning of livestock. *Proceedings of the 34th Int Cong of Meat Sci and Tech Brisbane*, pp 8-10 Ed Devine, CE and Shaw, FD.
- FORTIN, A. (1989). Preslaughter management of pigs and its influence on the quality (PSE/DFD) on pork. *Proc. 35. ICoMST, Vol. III*, 981-986.
- FORTIN, A., JONES, S.D.M., HAWORTH, C.R. (1984). Pork carcass grading: a comparison of the New Zealand Hennessy Grading Probe and the Danish Fat-o-Meater. *Meat Science* **10**: 131-144.
- FRAZIER, W.C., WESTHOFF, D.C. (1993). *Microbiología de los alimentos*. 4ª edición. Ed. Acribia, Zaragoza. España.
- GARCÍA CACHÁN, M.D. (1992). Estudio de la calidad de la canal y dela carne de los cerdos producidos en Castilla y Leon. Tesis Doctoral, Unv Leon, España.
- GARCÍA DÍEZ, A. J. (1997). Riesgos profesionales en los mataderos. *Eurocarne* **61**, 33-40.
- GARCÍA MARTÍN, M. (1990). Tendencias actuales en la calidad de la carne porcina. *Mundo Ganadero* **7**, 60-65
- GARDNER, G.A., COOPER, T.J.R. (1979). En: *Proc. of 25th European Meat Workers Budapest, Hungria*. pp:5-8.

- GARRIDO, M.D., BAÑÓN, S., PEDAUYÉ, J., LAENCINA, J. (1994b). Objective meat quality measurements of ham: A practical classification method on the slaughterline. *Meat Science* **37**, 421-428.
- GARRIDO, M.D., PEDAUYÉ, J., MARQUES, F., QUIÑONERO, J, LAENCINA, J. (1992). Influencia del tiempo de reposo en la calidad de la carne. Jornadas sobre tecnología de valoración de canales y carnes y defensa de la calidad de los productos ganaderos. Feria Internacional Ganadera Quinto Centenario. Zafra, Badajoz - España.
- GARRIDO, MD. PEDAUYÉ, J., BAÑON. S., LOPEZ., B., LAENCINA, J. (1995). On-line methods for pork quality detection . *Food Control* Vol. 6, **2**, 111-113.
- GARRIDO, MD., HONIKEL, K.O. (1996). Relación entre las características de la calidad de la carne de cerdo en las primeras horas postmortem y después del enfriamiento. *Fleischwirtschaft Español* **76** (2): 4-8.
- GARRIDO, MD., PEDAUYÉ, J., BAÑÓN, S., MARQUES, F., LAENCINA, J. (1994a). Pork quality affected by different slaughter conditions and postmortem treatment of the carcasses. *Lebensm. Wiss u Technol.* **27**, 173-176
- GEVERINK, N., LAMBOOIJ, E. (1994). Treatment of slaughterpigs during lairage in relation to behaviour and skinning damage. In Proc. 40th Int. Congr. Meat Sci. and Tech., The Hague, The Netherlands.
- GIGIEL, A.J., (1984). Proc. 30th Europ. Meet. Meat Res. Workers, Bristol, 2.7.
- GIGIEL, A.J., BUTLER, F., HUDSON, B. (1989). Alternative methods of pig chilling. *Meat Science* **26**. 67-83
- GILL, C.O., SHAND, P.J., McCURDY, A.R. (1992). Extending the storage life of raw meats II. Controlling the initial microbial quality. Technical Bulletin No. **2** of the Western Canada Research Group on Extended Storage of Meats and Meat Products.
- GIRARD, J. P. (1984). *Bull. Tech. C.R.Z.V.*, 56,59.
- GISPERT, M., FAUCITANO, L., OLIVER, M.A., GUARDIA, M.D., SIGGENS, K., HARVEY, K. (1999). *Meat Science* (enviado)-(comunicación personal)
- GISPERT, M., FAUCITANO, L., OLIVER, M.A., GUARDIA, M^a.D., COLL, C., SIGGENS, K., HARVEY, K., DIESTRE, A. (2000). A survey of pre-slaughter conditions, halothane gene frequency, and carcass and meat quality in five Spanish pig commercial abattoirs. *Meat Science* **55**, 97-106
- GISPERT, M., GUARDIA, M^a.D., DIESTRE, A. (1996). La mortalidad durante el transporte y la espera en porcinos destinados al sacrificio. *Eurocarne* **45**, 73-79.
- GRANADOS, M.V. (1997) Influencia de factores intrínsecos: genotipo y sexo, en la calidad tecnológica de la carne. Tesis de Licenciatura.

- GRANADOS, M.V. (2001). Influencia del genotipo y la dieta sobre la calidad de la canal y de la carne porcina. Efecto del α -tocoferol acetato sobre la estabilidad de la oxidación de la carne. Tesis Doctoral. Murcia, España.
- GRANDIN, T. (2000). Methods to reduce PSE and bloodsplash. Pub. by: Veterinary Outreach Programs, Univ. Minnesota. USA.
- GREASER, M.L., (1986). Conversion of muscle to meat. In: Bechtel, PJ, editor. Muscle as Food. Orlando, Fla.: Academic Press. p 37-102.
- GREGORY, N.G. (1987). Evaluation and control of meat quality in pigs. Ed: P.V. Tarrant, G. Eikelenboom and G. Monin, Mart. Nijhoff, Dordrecht, pp 265-272.
- GREGORY, N.G. (1994). Preslaughter handling, stunning and slaughter. Meat Science **36**, 45-56.
- GREGORY, N.G., MOHAN RAJ, A.B., AUDSLEY, A.R.S., DALY, C.C. (1990). Effect of CO₂ on man. Fleischwirtschaft **70**, 1173-1174.
- GRESHAKE, F., SCHMITTEN, F., SCHEPERS, K.H. (1988). Influence of the chilling method on meat quality in pig carcasses. Fleischwirtschaft **68** (7), 911-914.
- GUERRERO, L., ARNAU, J., MANEJA, E. (1992). Influence of the pH of meat on certain sensorial characteristics of cured ham. Advances in Sensory Science. Rose Marie Pangborn Memorial Symposium. B. V. 82, Järvenpää.
- GUISE, H.J. (1987). Moving pigs from farm to factory. Pig International, pp 8-12.
- GUISE, H.J., WARRISS, P.D. (1989). The effect of stocking density and temperature on meat quality in pigs. Animal Production **48**, 480-482.
- HANSSON, I., LUNDSTRÖM, K. (1989). Incorporating meat quality in grading systems for pigs. Proceedings European Association for Animal Production (EAAP)-Symposium of the Commission on Pig Production. Helsinki, Finland, 1988. EAAP Publication **41**, 52-59.
- HAUMANN, K. (1989). Anestesia con dióxido carbónico para ganado porcino en mataderos Daneses. Conferencia en el instituto Japonés de la Carne. Cárnica 2000, pp 81-86
- HERMANSEN, P. (1982). Personal Communication.
- HOENDERKEN, R. (1983). Electrical and carbon dioxide stunning of pigs for slaughter. In: Eikelenboom, G. (Editors) Stunning of Animals for Slaughter. Martinus Nijhoff, Boston. pp 59-63.
- HOFMANN, K. (1987). Der Begriff Fleischqualität: Definition und Anwendung. Fleischwirtschaft **67** (1):4.
- HOFMANN, K. (1988). El pH. Una característica de calidad de la carne. Fleischwirtschaft Español (1), 13-18.

- HOLKOVÁ, I., BECKOVÁ, R. (1989). The effect of stunning technique and interval between stunning and bleeding on the occurrence of meat quality defects in pigs. *Zivoc. Vyr.* **34** (9): 815-820.
- HÖLSCHER, T., HERTHUM, S., KALM, E. (1989). Influence of CO₂ stunning and bleeding out in a horizontal position on the quality of pig meat. *Fleischwirtschaft* **69** (5): 904-908.
- HOLLEBEN, K.v. (1996). Angewandter tierschutz in schlachtbetrieben. *DTW* **103**, 55-58.
- HONIKEL, K.O., KIM, C.J., HAMM, R. (1986). *Meat Science.*, **16**, 267.
- HONKAVAARA, M. (1989a). Influence of carcass temperature, glycogenolysis and glycolysis 45 min. postmortem on the development of PSE pork. *J. Agric. Sci. Finland. Maataloustieteellinen Aikakauskirja.* **61**, 433-440.
- HONKAVAARA, M. (1989b). Influence of lairage on blood composition of pig and on the development of PSE pork. *Journal of Agricultural Science in Finland* **61** (5): 425-432.
- HULSEGGE, B. MERKUS, G.S.M. (1997). A comparison of the optical probe HGP and the ultrasonic devices Renco and Pie Medical for estimation of the lean meat prportion in pig carcasses. *Animal Science* **64**, 379-383.
- JAMES, S. (1996). The chill chain “from carcass to consumer”. *Meat Science*, Vol 43, No. S, S203 S216.
- JAMES, S.J., GIGIEL, A.J., HUDSON, W.R. (1983). The ultra rapid chilling of pork. *Meat Science* **8**. 63-78
- JASPER, W., PLACZEK, R. (1980). *Conservación de la carne por el frío.* Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- JONES, S.D.M., JEREMIAH, L.E., ROBERTSON, W.M. (1993). The effects of spray and blast-chilling on carcass shrinkage and pork muscle quality. *Meat Sci.* **34**:351-362.
- JONES, S.D.M., ROMPALA, R.E., HAWORTH, C.R. (1985). *Can. J. Anim. Sci.* **65**, 613.
- JUDGE, M., ABERLE, E.D., FORREST, J.C., HEDRICK, H.B., MERKEL, R.A. (1989). *Principles of Meat Science.* Dubuque: Kendall/Hunt, 351 p.
- KANDA, H., KANCCHIKA, T. (1992). Some properties of abnormal porcine muscles (PFE, PFD) differred from PSE and DFD. 38th ICOMST, Clermont-Ferrand. France.

- KAUFFMAN, R.G., SYBESMA, W., SMULDERS, F.J.M., EIKELNBOOM, G., ENGEL, B., VAN LAACK, R.L.J.M., HOVING-BOLINK, A.H., STERRENBURG, P., NORDHEIM, E.V., WALSTRA, P., VAN DER WAL, P.G. (1993). The effectiveness of examining early postmortem musculature to predict ultimate pork quality. *Meat Science*, **34**: 283-300.
- KEMPSTER, A.J., JONES, D.W., CUTHBERTSON, A. (1979). A comparison of the Danish MFA, Ulster and Optical Probes for use in pig carcass classification and grading. *Meat Science* **3**, 109-120.
- KLETTNER, P.G. (1995) Cooling, freezing and thawing processes for meat. *Die Fleischerei* 7-8.
- KONDOJOYAN, A., DAUDIN, J.D. (1997). Optimisation of air-flow conditions during the chilling and storage of carcasses and meat products. *Journal of Food Engineering* **34**, 243-258.
- LAACK, R.L.J.M. van, KAUFFMAN, R.G., POLIDORI, P. (1995). Evaluating pork carcasses for quality. National Swine Improvement Federation Annual Meeting, December, 1. Wisconsin-Madison, USA.
- LAACK, R.L.J.M. van, SMULDERS, F.J.M. (1990). Chilling rate and pork quality – an orientation. Comunicación personal.
- LAENCINA, J., GARRIDO, M.D., PEDAUYÉ, J., LÓPEZ, M.B., BAÑÓN, S., GRANADOS, M.V., SEGUÍ, J., ÁLVAREZ, D. (1996). Estudio comparado de la calidad de la canal y de la carne porcina en la Región de Murcia. Consejería Medio Amb., Agric. y Agua. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. I.S.B.N.: 84-87154-51-4. Dep. Legal: MU-725.
- LAMBOOIJ, B., MERKUS, G., HULSEGG, I. (1992). Bandrestrainer für Schlachtschweine. *Fleischwirtschaft* **72**, 1315-1317.
- LAMBOOIJ, B., MERKUS, G., VOORST, N., PIETERSE, C (1997). Effect of a low voltage with a high frequency electrical stunning on unconsciousness in slaughter pigs. *Fleischwirtschaft International* (2): 13-14
- LAMBOOIJ, E., ENGEL, B. (1991). Transport of slaughter pigs by truck over a long distance: some aspects of loading density and ventilation. *Livestock Production Science* **28** (2), 163-174.
- LARSEN, H.K. (1983). Comparison of 300 volt manual stunning, 700 volt automatic stunning and CO₂ compact stunning, with respect to quality parameter, blood splashing, fractures and meat quality. In *stunning of animals for slaughter*, ed. G. Eikelenboom, Martinus Nijhoff Pub., The Hague, pp 64-74
- LAURSEN, A.M. (1983). *Stunning of animals for slaughter*. Ed. Eikelenboom. Martinus Nijhoff, The Hague, pp. 64-72.

- LAWRIE, R.A. (1998). Ciencia de la carne. 3ª Edición. Ed. Acribia S.A., Zaragoza, España.
- LE JOSSEC, P. (1992). Chaque nuit on improvise. Porc Magaz. **6**, 48-52
- LEGRAS, P. (1980). diplômé d'Études Supérieures, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- LEWIS, M.J. (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Ed. Acribia, Zaragoza. España.
- LONG, V.P., TARRANT, P.V. (1990). The effect of pre-slaughter showering and post-slaughter rapid chilling on meat quality in intact pork sides. Meat Science (in press)
- LOPEZ-BOTE, C., WARRISS, P.D., BROWN, S.N. (1989). The use of muscle protein solubility measurements to assess pig lean meat quality. Meat Science **26** (3): 167-175.
- LUNDSTRÖM, K., KARLSSON, A., LUNDEHEIM, N. (1987). Meat quality in boars and gilts after immediate slaughter or lairage for two hours. Sweden Journal Agriculture Research **17**, 51.
- MacDOUGALL, D.B. (1984a). Meat Research Institute light probe for stressed meat detection. Analytical Proceedings **21** (12): 494-495
- MacDOUGALL, D.B. (1984b). Detection of PSE-meat by the MRI Fibre Optic Probe (FOP). Proc. Scient. Meeting 'Biophysical PSE-muscle analysis' (Ed. H. Pfützner) (Technical University, Vienna) pp. 162-168.
- MacDOUGALL, D.B., JONES, S.J. (1975). The use of the fibre optic probe for the detection of pale pork. Proc. 21st European meeting of meat research workers. Berne, pp. 113-115.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food) (1995). The Welfare of Animals (Slaughter or Killing) Regulations. HMSO, London.
- MAGGI, E., ODDI, P. (1988). Prosciutti "PSE": possibilità di stagionatura. Indagini preliminary. Industria Alimentaria, **27**: 448.
- MALMFORS, G. (1982). Studies of some factors affecting pig meat quality. In: Proceedings of the 28th European Meeting of Meat Research Workers, 21-23
- MARÍA DOLORES, E. (1993). Definición del objetivo económico y de selección en la explotación convencional de ganado porcino: Estudio a nivel de granja y control de la calidad de la canal y de la carne en dos genotipos comerciales. Tesis doctoral. Murcia, España.
- McFARLANE, B.J., UNRUH, J.A. (1996). Effects of blast chilling and *postmortem* calcium chloride injection on tenderness of pork longissimus muscle. Journal Animal Science **74**: 1842-1845.

- MIHAJLOVIC, B., TURUBATOVIC, L., RADOVANOV, S. (1993). Influence of stunning ways of pigs on meat quality. *Tehnologija mesa* 1-2, godina XXXV. UDK 664.9:637.513.22. Pregledni rad.
- MILLIGAN, S.D., RAMSEY, C.B., MILLER, M.F., KASTER, C.S., THOMPSON, L.D. (1998). Resting of pigs and hot-fat trimming and accelerated chilling of carcasses to improve pork quality. *J. Anim. Sci.* **76**: 74-86.
- MOLLER, A.J., KIRKEGAARD, E., VESTERGAARD, T. (1987). *Meat Science.*, **21**, 275.
- MONFORT, (1989). Control de la calidad tecnológica de la carne. *Medicina Veterinaria* Vol. 6 nº **12**.
- MONIN, G. (1983). Influence des conditions de production et d'abattage sur les qualités technologiques et organoleptiques des viandes de porc. 15^a Journées Recherche Porcine en France: 151-176.
- MONIN, G. (1988). Evolution post-mortem du tissu musculaire et conséquences sur les qualités de la viande de porc. *Journées Rech. Porcine France* **20**, 201-214.
- MONIN, G., BIDARD, J.P., BARRAUD, C., ZERT, P. (1984). *Proc. 27th Eur. Meeting Meat Res. Workers, Vienna*, p. 221.
- MONIN, G., SELLER, P., OLLIVIER, L., GOUTEFONGEA, R., GIRARD, P. (1981). Carcass characteristics and meat quality of halothane negative and halothane positive Pietrain pigs. *Meat Science* **5** (6): 413-423.
- MONIN, G., SELLIER, P. (1985). Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate post mortem period: the case of the Hampshire breed. *Meat Science*, **13** (1): 49-63.
- MONIN, G., TALMANT, A., LABORDE, D., ZABAN, M., SELLIER, P. (1986). Compositional and enzymatic characteristics of the Longissimus dorsi muscle from Large White, halothane-positive and halothane-negative Pietrain and Hampshire pigs. *Meat Science* **16** (4): 307-316.
- MONIN, G.A., TALMANT, P.A., COLLAS, G. (1995). Effects on carcass weight and meat quality of pigs dehaired by scalding or singeing post-mortem. *Meat Science.* **39**: 247-254.
- MÖRSEL, H. (1973). *Vademecum del frigorista*. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- MUÑOZ, A. y DIESTRE, A. (1992). Calidad de la carne del ganado porcino. Simposio Internacional de Porcinocultura, SEPOR'92. Lorca, 15-18 Sept.
- MURRAY, A.C., JONES, S.D.M., TONG, A.K.W. (1989). *Proc. 35th International Congress of Meat Science and Technology, Copenhagen*, **35**, p. 188.
- NAVEAU, J. (1986). Contribution a l'étude du déterminisme génétique de la qualité de viande porcine. Héretabilité du Rendement Technologique NAPOLE. 18^a Journées Recherche Porcine en France: 265-276.

- NAVEAU, J., POMMERET, P., LECHAUX, P. (1985). Proposition d'une méthode de mesure du rendement technologique: la méthode Napole. *Techni-Porc* **8** (6): 7-13.
- NEWTON, K.G., GILL, C.O. (1981). The microbiology of DFD fresh meat: A review. *Meat Science* **5** (3): 223.
- NIELSEN, N.J. (1981). In *Porcine Stress and Meat Quality*, de. T. Froysten, E. Slinde & N. Standal. Agricultural Food Research Soc., As, Norway, p. 287.
- NOVELLI, E., CAMPESATO, E., CAMPANINI, G., DAZZI, G., MADARENA, G., BADIANI, A., CHIZZOLINI, R. (1993). Evaluación instrumental de la calidad de la carne porcina. *Mundo Ganadero* **7**, 1993-2.
- OFFER, G. (1991). Modeling the formation the pale, soft and exudative meat. Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, **30**:157-184.
- OLIVER, M.A. (1991). Efectes de la raça i de la sensibilitat al'halota en la qualitat de la canal i de la carn en el porci. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- OLIVER, M.A., GISPERT, M., GOU, P., DIESTRE, A. (1992). 38th ICOMST, Clermont-Ferran, August.
- OLIVER, M.A., GISPERT, M., SOLER, J. (1989). Problemas de calidad de la carne asociados al porcentaje de magro. *Producción Porcina. Aspectos Técnicos de Actualidad*. 1ª edición. Tibau, J. y col. Ed. Técnicas Europeas, SA: 67-81.
- OLIVER, M.A., GISPERT, M., TIBAU, J., DIESTRE, A. (1991). The measurement of light scattering and electrical conductivity for the prediction of PSE pig meat at various times post mortem. *Meat Science* **29**, 141-151.
- ORDOÑEZ, J.A., CAMBERO, M.I., FERNÁNDEZ, L., GARCÍA, M.L., GARCÍA, G., HOZ, L. de la, DOLORES, M. (1998). *Tec. de los Alimentos. Vol II, Alimentos de origen animal*. Ed. Síntesis S.A. Madrid, España.
- ORTNER, H.A. (1989). The effect of chilling on meat quality. *Fleischwirtschaft* **69** (4), 593-597.
- PEDAUYÉ, J.J. (1993). Evaluación objetiva de la calidad de la carne porcina en diferentes condiciones de sacrificio. Tesis Doctoral. Fac. Vet., Murcia.
- PEDAUYÉ, J.J., BAÑÓN, S., QUIÑONERO, M., LÓPEZ, M.B., GARRIDO, M.D. (1994). Calidad de la carne de cerdo: Influencia del espesor del panículo graso dorsal, el grado de infiltración grasa muscular y del sexo. *Anales de Veterinaria. Murcia* **9-10**, 17-24.
- PETHICK, D.W., WARNER, R.D., D'SOUZA, D.N., DUSNHEA, F.D. (1997). En: *Manipulating pig production VI*. Ed. Cranwell, P.D. pp: 91-99. Australasian Pig Sci. Assoc.

- PETROVIC, L., PETROVIC, M., MITROVIC-NONKOVIC, S., DUPALO, D., TUBIC, M. (1992). Influence of different methods of stunning and bleeding of pigs on pork quality. *Tehnologija mesa* 1-2, godina XXXV. UDK 664.9:637.522:351.773. Originalan naucni rad.
- PFÜTZNER, H., FIALIK, E. (1982). A new electrophysical method for rapid detection of exudative porcine muscle. *Zentralblatt f. Veterinärmedizin* 29, 637.
- PFÜTZNER, H., RAPP, E. (1988). Conductance, conductivity and dielectric loss factor of animal tissue and PSE muscles. *Fundamental problems of measurement. Fleischwirtschaft.* **68** (8), 1026-1028.
- POPOV, V.A., DIBIRASULAYEV, M.A. (1986). In recent advances in the refrigeration of meat by chilling. Commission C2, Int. Inst. Refrig., Bristol
- POSPIECH, E., DZIERZYNSKA-CYBULKO, B., MARUNIEWICZ, W., DARUL, W. (1989). Comparison of the rate of post mortem changes in pig muscles as affected by heredity, preslaughter weight and season in which they are slaughtered. *Proceedings 35th International Congress of Meat Science and Technology. Copenhagen, Denmark. Vol. III: 1006-1011.*
- PRÄNDL, O., FISCHER, A., SCHMIDHOFER, T., SINELL, H-J. (1994). *Tecnología e Higiene de la Carne.* Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- PRZYBYLSKI, W., VERNIN, P., MONIN, G. (1994). Relationship between glycolytic potential and ultimate pH in bovine, porcine and ovine muscles. *Journal of Muscle Foods* **5**, 245-255.
- RANDALL, J.M. (1993). *Animal Production* **57**, 299.
- REAGAN, J.O., HONIKEL, K.O., (1985). Weight loss and sensory attributes of temperature conditioned and electrically stimulated hot processed pork. *J. Food Sci.* **50**, 1586.
- REAL DECRETO 1041/97 de 27 junio, por el que se establecen las normas relativas a la protección de los animales durante su transporte.
- REAL DECRETO 147/1993 de 29 enero y su modificación, RD 315/1996 de 23 de febrero, por el que se establecen las condiciones sanitarias referentes a producción y comercialización de carnes frescas.
- REGLAMENTO EUROPEO 3220/84 (Orden 21-12-88, BOE 21-12-88) por el que quedan autorizados los reflectómetros para la clasificación de canales de cerdo en la CEE.
- RING, C. (1988). Workshop on stunning of livestock. *Proceedings of the 34th Int. Cong. of Meat Sci. and Tech. Brisbane, pp 15-19.* Ed Devine, CE and Shaw, FD.

- ROSEIRO, L.C., FRAQUEZA, M.J., ALMEIDA, J., MATIAS, E., SANTOS, C., SARDINHA, L. (1996). Influence of lairage temperature and time on postural attitude in pigs. In Proc. 42nd Int. Congr. Meat Sci. and Tech., pp. 442-443, Lillehammer, Norway.
- RÜBENSAM, J.M. (2000). Postmortem changes and pork quality. I Conferência Virtual Internacional sobre Qualidade de Carne Suína. Univ. Fed. Rio Grande do Sul, 16 nov - 16 dic. Brasil.
- SACK, E., FISCHER, K., CANSTEIN, B., von., SCHEPER, J. (1984). Relationship between meat characteristics and FOM-reflection values. Proc. Scient. Meeting 'Biophysical PSE-muscle analysis' (Ed. H. Pfützner) (Technical University, Vienna) pp. 304-310.
- SACKMANN, G. (1988). Einfluß der Ausruhzeit sowie der umgebungs- und technologischen faktore auf klinische und fleischhygienische parameter bei schlachtschweinen. Vet. Med. Diss. FU Berlin.
- SALM, C.P., RAY, F.K., ABERLE, E.D., OKOS, M.R., JUDGE, M.D. (1978). Yield characteristics, microbial load and chilling rates of skinned pork carcasses. J. Food Sci. 43, 1144-1146, 1152.
- SAYRE, R.N., KIERNAT, B., BRISKEY, E.J. (1964). Processing characteristics of porcine muscle related to pH and temperature during rigor mortis development and to gross morphology 24 h postmortem. Journal of Food Science, **29**, 175.
- SCHAEFER-ZEIDLER, C.E., JUDGE, M.D., ABERLE, E.D. (1983) Moisture losses during chilling from the skin surface of scalded pork carcasses. Journal of Food Science Vol **48**, 1351-1352
- SCHÄFFER, D., BORELL, E.V., LAUBE, R.B. (1997a). Observations on abattoir-handlers to the use of prod and stick on slaughter pigs in the entrance area of the restrainer. Dtsch. tierärztl. Wschr. **104**, 487-489.
- SCHÄFFER, D., BORELL, E.V., LAUBE, R.B. (1997b). Handling of slaughter pigs in the waiting pen—A metod suited for stress reduced driving. Fleischwirtschaft **77** (7): 608-610.
- SCHÄFFER, D., BORELL, E.V., LAUBE, R.B., MARX, G. SCHMIDT, A. (1999). A method of stress reduced driving of slaughter pigs decreased noise in the waiting pen. Fleischwirtschaft **1/99**, 113-115
- SCHATZMANN, U., HOWARD, J., PITTINO, J., FUCHS, P., (1994). Jet-injection for the stunning of slaughter pigs. Fleischwirtschaft International (3): 18-20.
- SCHATZMANN, U., LEUENBERGER, T., FUCHS, P., HOWALD, M., HOWARD, J. (1990). Jet-injection. Studies on use of a high-pressure water jet for stunning of slaughter pigs. Fleischwirtschaft **70** (80): 890-894.

- SCHMITTEN, F., SCHEPERS, K.H., FESTERLING, A. (1987). In evaluation and control of meat quality. Martinus Nijhoff publishers, Dordrecht, Netherlands, p.201
- SCHÖBERLEIN, L., LENGERKEN, G. von. (1991). Meat quality of pigs of different origin of the old and new states of the Federal Republic of Germany. Proc. 37th Int. Cong. of Meat Sci. & Tech. Kulmbach, Germany. Vol I: 184-187.
- SCHÖN, L., AUGUSTINI, C., EICHINGER, H., FISCHER, K., GRETHLEIN, R., HOLZ, K. (1975). Entwicklung von methoden zur bewertung des streßeinflusses beim transport von schlachttieren. Sonderheft ver. Landwirtsch **192**, 711-719.
- SCHREITER, M. (1981). Mikrobiologiw des fleisches und der fleischprodukte, in: Mikrobiologie tierischer Lebensmittel. Verlag Harri Deustch Thun, Frankfurt/M., 319-440.
- SEVERINI, M., CENCI, G., VIZZANI, A. (1994). Post mortem glycogenolysis and pigmeat quality. Instituto di Ispezione degli Alimenti di Origine Animale, Perugia, Italia, 1137-1140.
- SJÖBLOM, A-C., LUNDSTRÖM, K. (1989). Development of PSE – rapid post mortem glycolysis or low pH in the muscles at slaughter. Proceedings 35th Int. Congress of Meat Sci. and Tech., Copenhagen, Dk, IIII-III8.
- SPARREY, J.M., WOTTON, S.B. (1997). The design of pig stunning tong electrodes – A review. Meat Science Vol. 47, **1/2**, 125-133.
- SWATLAND, H.J. (1980). Post mortem changes in electrical capacitance and resistivity of pork. J. Anim. Sci. **51**:1108-1112.
- SWATLAND, H.J. (1981). Post mortem development of paleness in pork loins. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. **14**, 147-149.
- SWATLAND, H.J. (1987). Remote monitoring of post mortem metabolism in pork carcasses. Evaluation and Control of Meat Quality. Tarrant, P.V., Eikelenboom G., Monin, G. (eds). Martinus Nijhoff Publishers, The Hague: 143.
- SYBESMA, (1966). Fleischwirtschaft, 46, 37.
- SYBESMA, (1973). Some data concerning rigor development in muscle of pigs. Proc. 19th Europ. Meat Res. Workers, Paris. France.
- TABILO, G., FLORES, M., FISZMAN, S.M., TOLDRÁ, F. (1999). Postmortem meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry-cured ham. Meat Science **51**: 255-260.
- TAKACS, J., BIRO, G.Y. (1985). The effects of the scalding and singeing on the quality of pig meat. World Assoc. Vet. Food Hygieneists, 9. Int. Symp., Budapest, Proceed. 1. Vol., 180-184.

- TARRANT, P.V. (1989). The effects of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pigs. A review. *Irish Journal of Food Science and Technology* **13**, 79-107
- TARRANT, P.V., LONG, V.P. (1986). Proc. CEC Workshop: On line and non-destructive methods to measure meat characteristics, Theix, France, 5-6 Nov.
- TAYLOR, A.A., NUTE, G.R., WARKUP, C.C. (1995). The effect of chilling, electrical stimulation and conditioning on pork eating quality. *Meat Science* **39**: 339-347.
- TAYLOR, A.A., TANTIKOV, M.Z. (1992). Effect of different electrical stimulation and chilling treatments on pork quality. *Meat Science* **31**: 381-395.
- TOPEL, D.G., BICKNELL, E.J., PRESTON, K.S., CHRISTIAN, L.L. and MATSUSHIMA, C.Y. (1976). *Mod. Veterinary Practice* **49**, 40.
- TORNBERG, E., SETH, G.V., GÖRANSSON, A. (1994). Influence of ageing time, storage temperature and percentage lean on the eating quality of pork and its relationship to instrumental and estructural parameters. *Sciences des aliments* **14**, 373-385
- TROEGER, K. (1989). Plasma adrenaline levels of pigs after different pre-slaughter handling and stunning methods, Proc. 35. ICMST, Vol. III, 975-980.
- TROEGER, K. (1996a). Transportation of slaughter animals. Treatment during transport and its consequences for product quality. *Fleisch. International* **1**, 2-4.
- TROEGER, K. (1996b). Schlachten–Fleischqualität contra Tierschutz. *Fleisch*. **76**, 113.
- TROEGER, K., WOLTERS DORF, W. (1987). Influencia del escaldado y el depilado en la faena de cerdos sobre la calidad de la carne. *Fleisch. Español* (1): 8-16.
- TROEGER, K., WOLTERS DORF, W. (1989). Medición del estrés de los cerdos durante el sacrificio. *Fleischwirtschaft Español* **2**, 3-8.
- TROEGER, K., WOLTERS DORF, W. (1990). Electrical stunning and meat quality in the pigs. *Fleischwirtschaft* **70**, 901-904.
- TROEGER, K., WOLTERS DORF, W. (1991). Gas anaesthesia of slaughter pigs. Stunning trials under laboratory conditions with fattening pigs of known halotane reaction types: meat quality, animal welfare aspects. *Fleischwirtschaft* **71**, 1063-1068.
- USBORNE, W.R., MENTON, D., McMILLAN, I. (1987). Evaluation of the Destron PG-100 electronic probe for grading warm pork carcasses. *Canadian Journal of Animal Science* **67**, 209-212.

- VADA, M. (1977). Effect of cooling rate upon processing characteristics of pork meat of different glycolysis type during post mortem ageing. *Meat Science* **1**, 245-252.
- VAN LOGTESTIJN, J.G., ROMME, A.M.T.C., EIKELENBOOM, G. (1982). Losses caused by transport of slaughter pigs in Netherlands. In: Moss, R. (Ed) Transport of animals intended for breeding, production and slaughter. *Curr. Topics Vet. Med. Anim. Sci.* **18**, 105-114.
- VEERKAMP, C.H. (1986). In recent advances in the refrigeration of meat by chilling. Commission C2, Int. Inst. Refrg., Bristol
- VELARDE, A., GISPERT, M., DIESTRE, A. (1999). Sistemas de aturdimiento en porcino: efectos sobre el bienestar animal y la calidad del producto final. *Eurocarne* **76**, 55-60.
- VELARDE, A., GISPERT, M., FAUCITANO, L., ALONSO, P., MANTECA, X., DIESTRE, A. (2001). Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. *Meat Science* **58** (3): 313-319.
- VON MICKWITZ, G. (1982). Transport of animals intended for breeding. Production and slaughter. *Curr. topics. Vet. Med. Anim. Sci.* **18**. Mt. N, The Hague.
- VOOGD, E.L. (1983). Slaughter factors that affect pork quality. Thesis, University of Illinois, USA. 2-47.
- WAJDA, S., BAK, T. (1994). Slaughter value of pigs hauled to slaughterhouses from the distances of 50 and 100 Km. IInd Int. Conf. "The influence of genetic and non genetic traits on carcass and meat quality". Siedlce, 7-8 Nov.
- WAL, P.G. van der, BEEK, C.H. van, VEERKAMP, C.H., WIJNGAARDS, G. (1993). The effect of scalding on subcutaneous and ham temperatures and ultimate pork quality. *Meat Science* **34**: 395-402
- WAL, P.G. van der, ENGEL, B., REIMERT, H.G.M. (1999). The effect of stress, applied immediately before stunning, on pork quality. *Meat Sci.* **53**, 101-106.
- WAL, P.G. van der. (1978). Chemical and physiological aspects of pig stunning in relation to quality - a review. *Meat Science* **2** (1): 19-30.
- WAL, P.G. van der. (1991). What is and can be done to improve pork quality. *Pigs*, Sept.-Oct.: 42-43.
- WAL, P.G. van der., ENGEL, B., BEEK, G. VAN., VEERCAMP, C.H. (1995). Chilling pig carcasses: Effects on temperature, weight loss and ultimate meat quality. *Meat Science*, 40:193-202.

- WAL, P.G. van der., NIJEBOER, H., MERKUS, G.S.M. (1987). The measurement of light scattering properties at 45 min post mortem for prediction of pork quality. Evaluation and Control of Meat Quality. Tarrant, P.V., Eikelenboom, G., Monin, G. (eds). Martinus Nijhoff Publishers for the Commission of the European Communitte: 201-209.
- WAL, van der P.G., ENGEL, B., HULSEGGE, B. (1997). Causes for variation in pork quality. Meat Science Vol 46, 4, 319-327.
- WALSTRA, P., HULSEGGE, B., MATEMAN, G., (1994). Aplication of ultrasonics in pig carcass classification. ICoMST The Hague (NL) S-III.13.
- WARNANTS, N., EECKHOUT, W., BOUCQUÉ, CH.V. (1993). Journal Animal Breed gen **110**, 357.
- WARRISS, P.D. (1982). Journal Science of Food Agriculture **33**, 840.
- WARRISS, P.D. (1994). Ante-mortem handling of pigs. In: Cole DJA, Wiseman J and Varley MA (eds) Principles of Pig Science pp 425-432. Nottingham University Press: Loughborough, UK
- WARRISS, P.D. (1998a). The welfare of slaughter pigs during transport. Animal Welfare **7**, 365-381
- WARRISS, P.D. (1998b). Choosing appropriate space allowances for slaughter pigs transported by road: a review. Veterinary Record **142**, 449-454.
- WARRISS, P.D., BEVIS, E.A. (1987). Brit. Vet. J. **143**, 354.
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N. (1994). A survey of mortality in slaughter pigs during transport and lairage. The Veterinary Record **14**, 513-515.
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N. NUTE, G.R., KNOWLES, T.G., EDWARDS, J.E., PERRY, A.M. JOHNSON, S.P. (1994). Potential interactions between the effects of preslaughter stress and post-mortem electrical stimulation of the carcasses on meat quality in pigs. Meat Science, Vol 41, No 1, pp 55-68.
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N., ADAMS, S.J.M. (1991). Use of the Tecpro pork quality meter for meter for assessing meat quality on the slaughterline. Meat Science **30**, 147-156.
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N., BEVIS, E.A., KESTIN, S.C. (1990b). The influence of preslaughter transport and lairage on meat quality in pigs of two genotypes. Amimal Production **50**, 165-172.
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N., EDWARDS, J.E., KNOWLES, T.G. (1995). Effect of lairage time on levels of stress and meat quality in pigs. Proc. EU-Seminar: New information on welfare and meat quality of pigs related to handling, transport and lairage conditions, pp. 163-170. Mariensee, Germany.

- WARRISS, P.D., BROWN, S.N., EDWARDS, J.E., KNOWLES, T.G. (1998b). Effect of lairage time on levels of stress and meat quality in pigs. *Animal Science* **66**, 255-261.
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N., FRANKLIN, J.G., KESTIN, S.C. (1990a). The thickness and quality of backfat in various pig breeds and their relationship to intramuscular fat and setting of joints from the carcasses. *Meat Science* **28**, 21-29.
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N., KNOWLES, T.G., EDWARDS, J.E., KETTLEWELL, P.J., GUISE, H.J. (1998a). The effect of stocking density in transit on the carcass quality and welfare of slaughter pigs: 2. Results from the analysis of blood and meat samples. *Meat Science* **50**, 447-456
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N., LOPEZ-BOTE, C., BEVIS, E.A., ADAMS, S.J.M. (1989). Evaluation of lean meat quality in pigs using two electronic probes. *Meat Science* **25**, 281-291.
- WARRISS, P.D., DUDLEY, C.P., BROWN, S.N. (1983). Reduction of carcass yield in transported pigs. *J. Sci. Food Agric.* **3**, 351-356.
- WENZLAWOWICZ, M.V. (1996). Theoretische Grundlagen der elektrischen Betäubung und vorgehensweise beim Verdacht auf fehlerhafte Durchführung der elektrischen Betäubung. Seminar des Beratungs und Schlachtieren. Univ. Berlin.
- WENZLAWOWICZ, M.V., BRIESE, A., HOLLEBEN, K.V., MICKWITZ-SCHWARZENBEK, G.V. (1996). Fixation of slaughterpigs for electrical stunning. Piglift, a new device for careful conveyance and fixation of pigs. *Fleischwirtschaft* **76** (11): 1108-1115.
- WENZLAWOWICZ, M.V., SCHÜTTE, A., HOLLEBEN, K.V., ALTROCK, A.V., BOSTELMANN, N., ROEB, S. (1999). Field-study on welfare and meat quality aspects of the Midas-pig-stunning device with Inarco System. Part I: Current characteristics and stunning effectiveness. *Fleischwirtschaft Int.* **2**, 8-13.
- WICKE, M., LENGERKEN, G. von., FIEDLER, I., ALTMAN, M., ENDER, K. (1991). Influence of selection based on muscle structure characteristics of the M. Longissimus on stress sensitivity and meat quality in the pig. *Fleischwirtschaft* **71** (4): 437-438, 441-442.
- WISMER-PEDERSEN, J. (1987). Chemistry of animal tissue-Part 5. Water. P. 141-154. In: *The Science of Meat and Meat Products*. 3rd Ed. Edit. J.F., Price and B.S. Schweigert. Food and Nutrition Press, Inc. Westport, CN.
- WOLTERS DORF, W., MINTZLAFF, H-J. (1996). Escaldado de cerdos por condensación: Un método practicable. 1. Efecto del escaldado y recuento bacteriano en la superficie de las canales. *Fleisch. Español* **76** (2): 11-16.
- WOLTERS DORF, W., TROEGER, K. (1989). Improving the quality of PSE pork by very quick chilling. *Fleischwirtschaft* **69**(5), 875-878.

- WOLTERS DORF, W., TROEGER, K. (1990). Refrigeración extra rápida. *Fleischwirtschaft Español* **1**, 37-45.
- WOOD, J.D. (1991). Carcass composition. Growth of tissues. Measurement of composition in live animals. Curso sobre la calidad de la canal y de la carne en Rumiantes. Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos (CIHEAM) e Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ). Zaragoza, España.
- WOOD, J.D., HOLDER, J.S., MAIN, D.C.J. (1998). Quality assurance schemes. *Meat Science*, Vol. 49 No.S. 1, S191-S203.
- WUNDRAM, G., SCHÖNBERG, F. (1962). Tierärztliche lebensmittelüberwachung. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg. s. S. 521.
- ZAPATA, M., MORENO, R., CORTINA, J., GRIS, J., RADOVICH, R., (1985). Las Industrias cárnicas en la Región de Murcia. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Murcia, España.
- ZELLER, W., SCHATZMANN, U., IMHOF, A. (1987). *Die Fleischwirtschaft*. **67**, 1519
- ZERT, P., POLACK, D. (1982a). Caracterisation objective de l'état PSE ou DFD. La Qualite de la Viande de Porc. Publication ITP, serie V: 33-50.
- ZERT, P., POLACK, D. (1982b). Prevention des viandes PSE et DFD. La Qualite de la Viande de Porc. Publication ITP, serie V: 63-78.
- ZWEIGBERGK von, A.J., LUNDSTRÖM, K., HANSSON, I. (1989). The incidence of high internal reflectance 45 minutes PM with different stunning methods. Proceedings 35th International Congress of Meat Science and Technology, Copenhagen, Denmark.

IX. RESUMEN / SUMMARY

Se estudió la influencia de la tecnología del sacrificio sobre la calidad de la canal y la carne porcinas. El trabajo consistió en estudiar minuciosamente todas las operaciones llevadas a cabo en un matadero industrial de gran capacidad, desde la recepción de los cerdos, hasta la obtención de la canal refrigerada, con el objeto de detectar y, en su caso, subsanar, posibles pérdidas de calidad que pudieran ser atribuibles a la tecnología empleada. Para ello, se valoró la importancia de aquellas operaciones que podrían jugar un papel relevante en la consecución de una mejor calidad, incluido el diseño de instalaciones, tales como zonas de descarga, corrales, salas de sacrificio y faenado y cámaras frigoríficas.

El estudio fue realizado sobre 2047 cerdos de cebo procedentes de 36 granjas, realizando diferentes medidas y ensayos según las operaciones estudiadas. Se determinó el peso, magro y panículo adiposo de la canal, estableciéndose su clase comercial y conformación subjetiva. La temperatura de la canal fue estudiada en el músculo SM a 3 niveles de profundidad (superficial, medio y profundo) a 45 min, 2 y 24 h *pm*. La calidad de la carne fue estimada en el músculo SM a partir de medidas de pH (45 min, 2, 8 y 24 h) y CE (45 min, 2 y 24 h). Las carnes fueron clasificadas como PSE ($CE_2 > 8$ mS/cm), DFD ($pH_8 \geq 6,2$) y Normales cuando la $CE_2 < 6$ mS/cm y el $pH_8 < 6$.

Los resultados obtenidos muestran como la calidad de la carne va a estar condicionada por el manejo presacrificio, la refrigeración de las canales, y en menor medida, por el faenado. Especialmente críticos son el reposo, acarreo y aturcido, como las operaciones más influyentes en vida del animal, junto con los ritmos de sacrificio que puedan sobrepasar la capacidad frigorífica del sistema de oreo rápido. También se encontraron mermas en la calidad de la carne como consecuencia del diseño y ubicación inadecuadas de algunas instalaciones o equipos.

La medida de CE_2 mostró ser un buen estimador de carnes exudativas y la medida de pH_8 un indicador fiable para la detectar carnes fatigadas. Estas medidas se adaptaron plenamente a la actividad en la planta, permitiendo ajustar el tiempo mínimo necesario de estancia de las canales en las cámaras frigoríficas para su categorización. La incidencia de carnes exudativas fue del 7,7-8,3%, mientras que el porcentaje de carnes fatigadas fue del 4,4-8,1%.

La mejor calidad de carne se obtiene tras aplicar periodos de reposo de 4 h en cerdos sacrificados en condiciones de acarreo y manejo favorables, y sometidos a una concentración máxima de CO_2 en el fondo del foso del 80%, durante 90 s. La aplicación de 90 min de oreo rápido ($T^a: 0 \pm 2^\circ C$; HR: 85-90 %; V: 3-5 m s⁻¹) a un ritmo de sacrificio de 300 canales/h es suficiente para mantener la calidad de la carne y prevenir posibles mermas de calidad causadas por una deficiente refrigeración.

The influence of the slaughter technology on carcass and pork meat quality was studied. The work consisted in a throughout study including all the operations carried out in a great capacity industrial slaughter, from the arrival of the animals to the refrigerated carcass. This was made in order to detect and correcting possible quality losses related to the technology applied. For this purpose, it was considered the most important processes that could have influence on the meat quality, among them were included: installation design, loading areas, corrals, slaughtering rooms, and refrigeration rooms.

2047 pigs from 36 different farms were studied considering different batches and measurements according to the industrial stage under study. Weight, lean, and backfat of carcass were determined in order to establish their commercial type and subjective conformation. SM temperature at 45 min, 2 and 24 h *pm* was measured at three different deep levels (surface, middle, bottom). pH (45min, 2,8,and 24h *pm* and CE (45min, 2, and 24h *pm*) measurements at SM were used for the estimation of meat quality. Meat was classified according to the latest parameters as PSE ($CE_2 > 8$ mS/cm), DFD ($pH_8 > 6.2$), and normal ($CE_2 < 6$ mS/cm and $pH_8 < 6$).

The results obtained showed the relationship between *antemortem* handling, carcass refrigeration conditions, and slaughter handling with meat quality. The most critical parameters affecting meat quality can be considered: resting animal, entry of animals into the slaughter rooms, stunning, and finally refrigeration room capacity being enough to keep the slaughtering rate. Losses of meat quality were also found because of non-adequate design and location of the installations.

CE_2 and pH_8 measurements demonstrated being good factors to identify exudative and fatigued meats respectively. These parameters showed to have a good adaptation to the industrial activity and allowed for a good time adjustment of the carcass in the refrigeration rooms for the meat categorisation. The exudative and fatigue meat percentages were estimated in 7.7-8.3 % and 4.4-8.1% respectively.

The best meat quality was obtained under the following conditions: resting of animals four hours, favourable movement and handling treatments, and stunning by an atmosphere of C_2 at 80% concentration during 90s. A quickly chilling process during 90 min ($T: +2$ °C, $RH: 85-90\%$; $V: 3-5$ m s⁻¹) having a slaughtering rate of 300carcasses/h was enough to keep meat quality and to avoid decreases in quality related to insufficient refrigeration conditions.