

# Tecnología de granulación de piensos

## II: granulación y cocción-extrusión

J. Fernández Carmona. M. Jover Cerdá. E. Blas Ferrer. Dpto. Ciencia Animal. Universidad Politécnica de Valencia.



Figura 1. Pellets de distintas materias primas.

### Granulación

Hace menos de 20 años una notable proporción de los piensos compuestos comercializados por las fábricas, era proporcionada al ganadero en forma de harina, y ensacada por añadidura. Los gránulos parecían tener ciertas ventajas, que desde luego estaban bien demostradas en experimentos científicos desde los años 50, pero la diferencia de precio no compensaba aparentemente su adquisición por parte del ganadero. Con la excepción de la cunicultura, poco desarrollada entonces, los demás animales admiten bien como alimento la harina, donde el comprador podía constatar la presencia de maíz y cebada como señal de calidad de la misma.

Hoy día el panorama ha variado totalmente y las fábricas venden el 70-

80% de su producción en forma de gránulo, y además a granel. Las causas de este cambio radican sobre todo en la presencia de silos en todas las granjas, que son muy eficaces para el manejo de gránulos, y el empleo de granuladoras de gran potencia que han abaratado el proceso. También muchas materias primas se comercializan, en gran parte hacia las fábricas de pienso, en forma de gránulos. La paja, alfalfa, mandioca y pulpas son algunos de los ejemplos que nos dan idea de la magnitud de este comercio. Además, la utilización de "migas" en avicultura es general, siendo su fabricación precedida de la granulación del pienso.

El gránulo o "pellet" se puede definir como una sustancia aglomerada por compresión y extrusión. Existen muchos tipos de "prensas granulado-

ras" en la industria e incluso varios en la sección específica de piensos, pero las más comunes usan un sistema de dos o tres rodillos que laminan y comprimen la harina, forzando su paso a través de los orificios de una matriz. La fricción de la harina con los elementos mecánicos y especialmente con los orificios de la matriz elevan la temperatura y el resultado final es la salida del gránulo ya formado a 80-90 °C.

Un gránulo muy duro es rechazado por los animales, pero si es demasiado blando se rompe y disgrega con facilidad en las cuatro o cinco ocasiones que todavía ha de ser movido. Estas características son importantes y definen la calidad del gránulo, que todo ganadero evalúa al tacto y por el residuo que queda al manejarlo, y que algunos fabricantes determinan con di-

versos índices, cuya exacta metodología puede encontrarse en manuales especializados. Si añadimos la determinación del grado de molienda, podríamos hacer la lista de índices reseñada a continuación:

— Tamaño de partícula. Porcentaje de partículas que pasan a través de distintas cribas normalizadas de agujeros entre 0.5 y 3 mm de diámetro. Pueden usarse como índices la media y la desviación estandar, el módulo de finos, módulo de uniformidad... etc.

— Peso específico y volumen específico, medidos en cilindros normalizados.

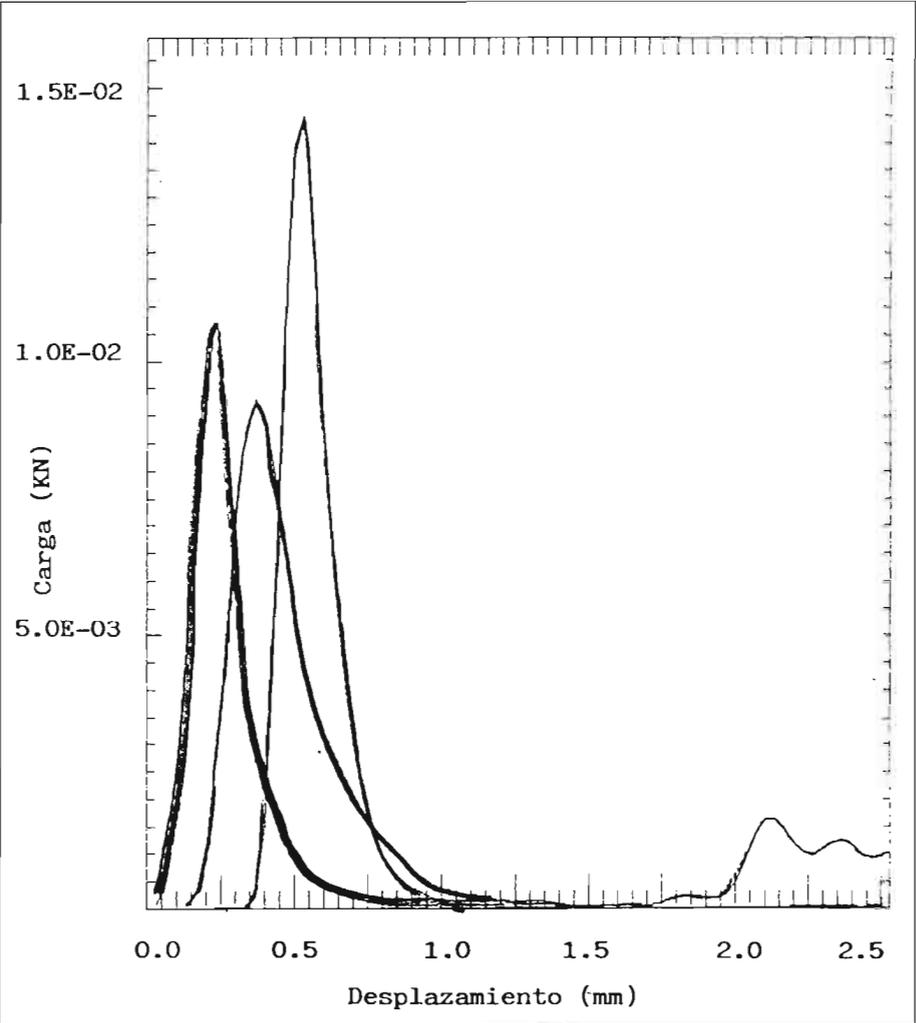
— Resistencia a la rotura. Indica el grado de dureza y está relacionado con la durabilidad del gránulo. Un ejemplo se expone en la **Fig. 2**.

— Durabilidad o porcentaje de residuos. Evalúa la resistencia a la abrasión, llamada friabilidad, y es una medida de la cohesión del gránulo. Es el peso de partículas disgregadas cuando 500 g se agitan durante 10 minutos a 50 rpm. Esta es la norma ESAE. 5.269.1 que se utiliza universalmente.

La forma del gránulo depende de la forma del agujero de la matriz, pero generalmente es cilíndrica y a ella nos referimos en este artículo. El grado de compactación depende de características mecánicas, vapor y velocidad de suministro de harinas, pero también del diámetro y profundidad del agujero además del producto a granular. Tal cantidad de variables, y su interrelación, han llevado a que la granulación se considere un arte más que una ciencia, pero en los últimos años se han establecido relaciones cuantificativas entre algunas de ellas.

Desde luego, a menor diámetro y mayor longitud del agujero (recorrido de la matriz), más compresión del material y como consecuencia mayor dureza del gránulo. Con gránulos grandes el rendimiento de la granuladora es mayor, y por tanto es el procedimiento lógico cuando se destina a ganado vacuno o al comercio de materias primas para fábricas de pienso. Otras especies requieren gránulos de menor diámetro, especialmente si son jóvenes.

La humedad óptima de una mezcla para ser granulada es alrededor del 15%, con un rango de variación del 2%, y como en general la humedad de las materias primas es algo menor, frecuentemente se adicionaba agua, que también disminuía la fricción, evitando que la su-



**Figura 2.** Curvas de fuerza aplicada (Newtons) y desplazamiento del punzón (0.2 mm) obtenidas en prensa INSTRON. El pico de cada curva corresponde a la fuerza de rotura. Se han escogido las curvas de picos medio, mínimo y máximo entre las obtenidas con 10 gránulos de pienso, y se ha desplazado el origen de las dos últimas para mayor claridad. Loras y Jover 1989.

perficie del gránulo apareciese quemada. Actualmente, salvo en pequeñas granuladoras de laboratorio, se introduce vapor en la mezcla. El vapor facilita la operación mecánica, de modo que el rendimiento de la granuladora se dobla, y el desgaste junto con las averías disminuyen. La incorporación de al menos un 2-3% de vapor rebaja sensiblemente el porcentaje de residuos, por ejemplo desde un 40 a menos del 5%, y el gasto de energía casi a la mitad. Evidentemente, el vapor es absolutamente necesario en el proceso de granulación de un pienso, y la cantidad depende del porcentaje de humedad añadido, que suele estar en menos del 5%, el rendimiento horario de la máquina y la presión del vapor, no menos de 5 atmósferas, en la mezcla.

Un exceso de humedad disminuye la dureza del gránulo y otro problema

reside en la incorporación de vapor de agua no seco; este inconveniente se trata de evitar en la instalación mediante sistemas de retorno, aislamiento de las conducciones del vapor y las válvulas de purga. El vapor seco penetra en las partículas de la harina, las hincha y cohesiona, pero el agua presente en el vapor húmedo tiende a cubrir las partículas con una película de agua, la harina se amasa y los atascos en la matriz son más frecuentes. En realidad estos inconvenientes surgían cuando al principio se adicionaba agua al pienso.

A la salida de la matriz es pues necesario desecar el gránulo, y para ello se instalan las torres desecadoras o de "enfriamiento", llamadas así porque el

resultado más aparente de esta operación es un gránulo frío, consecuencia de la nueva evaporación del agua.

La composición de la mezcla a granular tiene una influencia decisiva sobre la calidad del gránulo. Los productos con mucha fibra se granulan mal, y un caso extremo es la fabricación de pellets de orujo de uva, cascarilla de arroz o simplemente paja de cereal. Un caso práctico se presenta en la fabricación de gránulos para conejos, que pueden llevar un 30% de alfalfa y tal vez un 5-10% de paja.

Las pectinas y azúcares sencillos presentes en muchas pulpas se caramelizan y crean dificultades.

La grasa de algunos productos, o más normalmente la que se añade a la mezcla, reduce la disgregación de partículas de distinto tamaño, lubrica el pienso, disminuye el polvo y facilita la granulación, pero si excede del 2-3% tiende a producir un gránulo blando, extremadamente friable. Hay numerosas experiencias que lo confirman, y en la Tabla 1 hemos resumido uno de los ejemplos más clásicos del tema.

La grasa se ha añadido tradicionalmente en la mezcladora, calentada para evitar la formación de grumos, pero ahora se añade a alta temperatura mediante difusores situados a la salida en la parte exterior de la matriz. Esta técnica incrementa incluso la dureza del gránulo, y ha permitido por tanto aumentar el porcentaje de grasa añadida al mismo, resolviendo lo que hoy día es casi un imperativo técnico y económico en la fabricación de piensos.

El tamaño de la criba, la finura de las partículas y la proporción de finos son índices del grado de molienda de un producto. En principio, mientras más fino esté molido el material mejor se granula. Por ejemplo, el heno de alfalfa molido con malla de 2 mm de diámetro se granula bien mientras que con malla de 5 mm se granula bastante mal, incluso aunque se añada algún aglomerante, por ejemplo un 1.5% de bentonita. Algunas materias primas vienen molidas de origen y otras no; además, la organización de la fábrica implica a veces el molido antes de la mezcla o después de su paso por la mezcladora. Si a esto se añade que el porcentaje y la configuración de las partículas de unos productos son distintas de otros, se hace necesario considerar cada vez el problema particular a resolver.

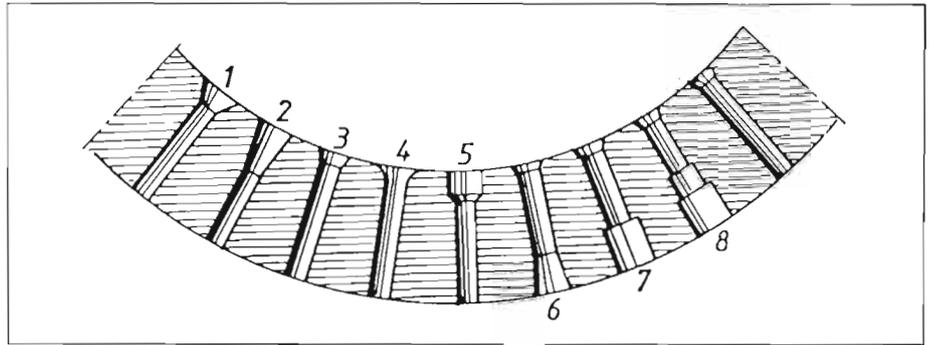


Figura 3. Distintos modelos de orificios de matriz. Entradas: 1, 2, 3, cónico; 4 trompeta; 5 ataque. Relieve cilíndrico: 6 cónico; 7 estándar; 8 doble Esbjerg matador Maskiner.

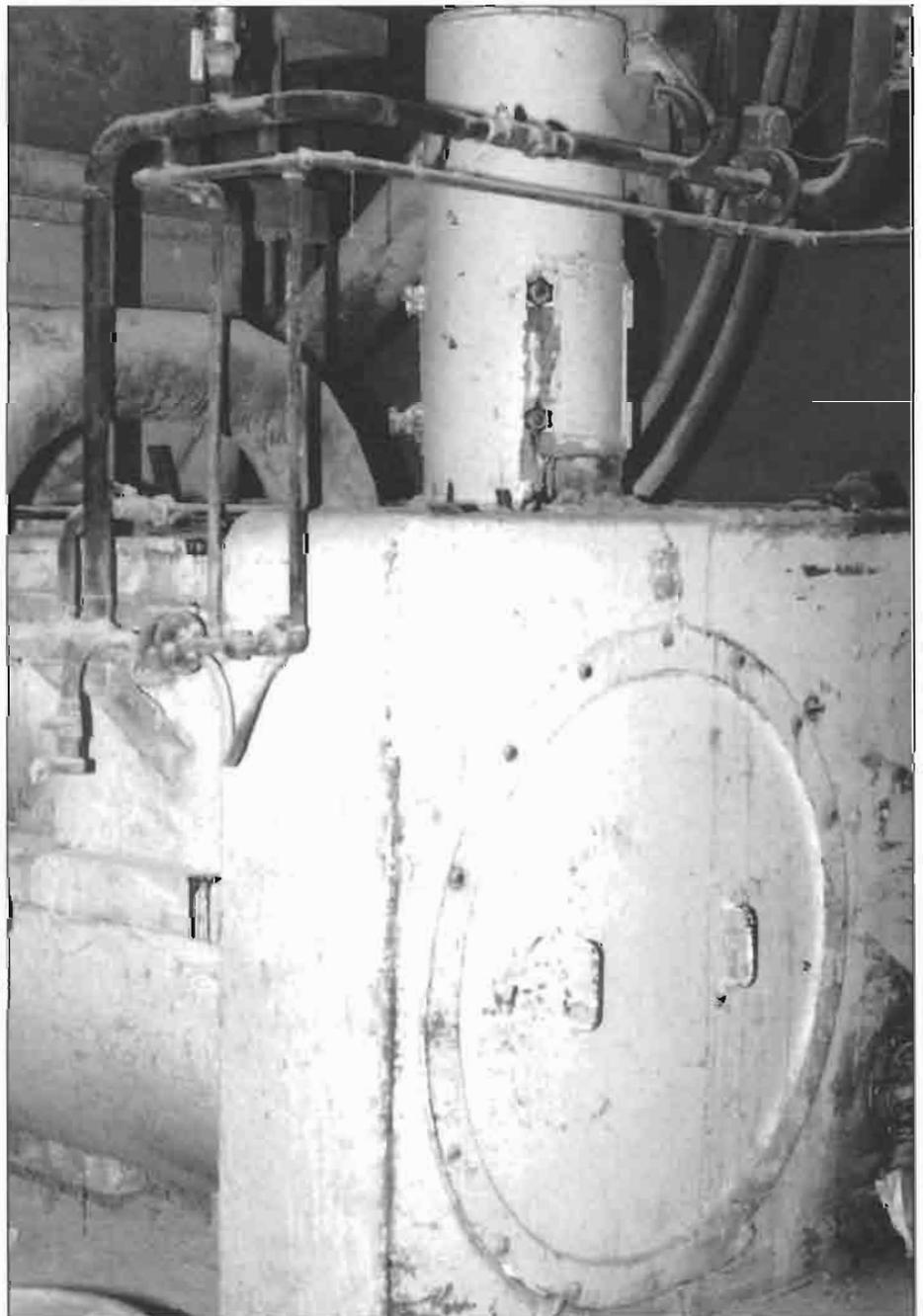


Figura 4. Mezcladora horizontal con incorporación de grasa y melazas. Coop. Criadores Cerda (COCERVA) 1989.

**TABLA N.º I. EFECTO DEL TAMAÑO DEL GRANULO EN LA ALIMENTACION DEL CONEJO. HARRIS 1984**

Diámetro-longitud (mm)	4-5	4-10	4.8-5	4.8-10
Ingestión (g d <sup>-1</sup> )	111	127	127	127
Ganancia de peso (g d <sup>-1</sup> )	34	38	40	37
Indice Conversión	3.3	3.3	3.3	3.4

**TABLA N.º II. INFLUENCIA DE LA GRASA AÑADIDA SOBRE EL GASTO DE ENERGIA (KWH/TM) EN LA GRANULACION. GRANULADORA A MAXIMO RENDIMIENTO, MATRIZ O 4.7 X 45 mm. HEADLEY Y KERSHNER, 1968**

Nivel de grasa en el pienso	0%	1%	2%
Arranque cerdos 18% proteína	11.1	8.4	6.6
Vacuno 18% prot. y 18% fibra	14.6	10.5	8.4
Vacuno 11% urea	13.0	8.8	7.2

**TABLA N.º III. DIFERENTES MODELOS CLETRAL BI-TORNILLO**

Diámetro del tornillo (mm)	55	88	102	115	132	200
Distancia axial (mm)	45	72	82	92	105	160
Capacidad mínima (kg/h-min)	30	100	250	400	800	2.000
Potencia (kw)	15	55	85	115	175	450
Rotación (rpm)	275	280	300	285	280	220

**TABLA N.º IV. APLICACIONES DE LA COCCION-EXTRUSION EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA PARA ANIMALES. LEGOY 1988.**

Materias Primas  
 cereales: gelificación almidón  
 soja: energía, inactivación antinutrientes  
 algodón: destrucción gosispol

Piensos  
 lechones y pollitos: estartes  
 visones: alta grasa  
 peces: flotación controlada, rehidratación y alta grasa  
 perros y gatos: rehidratación y textura  
 vacas: saponificación de grasa y proteína protegida  
 animales SPF: esterilización

**TABLA N.º V. NITROGENO DEGRADABLE EN RUMEN DESPUES DE COCCION EXTRUSION.**

Autor	Materia	Tratamiento	%N
Schingoethe y Ahrar 1979	soja	control	46
	soja	CE 120 °C	43
	girasol	control	54
	girasol	CE 120 °C	47
Michalet-Doreau 1985	habas	control	77
	habas	CE 150 °C	49
Michalet-Doreau 1988	soja	control	80
	soja	CE 150 °C	60

Se sabía que la alimentación a base de pellets, comparada al suministro de harina de la misma composición, mejora la respuesta productiva de las aves y esta idea se ha extendido al resto de las especies domésticas. La densidad específica del gránulo, a través de su efecto sobre la velocidad de deglución y tránsito digestivo, puede que tenga alguna relación con esta mejora, pero ciertamente el menor desperdicio y la mejora del valor nutritivo son causas del mismo. Refiriéndonos a este último, se sabe que el calor aportado por el vapor de agua y el resultante de la fricción, gelatiniza parcialmente el almidón, que en definitiva resulta más digestible.

**Cocción - Extrusión**

Extrusión significa forzar el paso de un material a través de una matriz, definición que se ajusta perfectamente a la granulación anteriormente comentada, pero cuando se habla de "extrusores", generalmente nos referimos a una tecnología diferente. En la granulación clásica la presión es aplicada por rodillos durante una fracción de segundo y la temperatura del gránulo alcanza solamente unos 90 °C. La in-

dustria utiliza muchos procesos definibles como cocción-extrusión (CE) o relacionadas con él, pero aquí nos referimos al que comprende un tratamiento termomecánico durante unos segundos, menos de 10, a temperaturas elevadas (entre 100 y 200 °C comúnmente, e incluso hasta 250 °C, mediante resistencias eléctricas o inducción magnética), altas presiones (50 a 150 bars) conseguidas con un "Tornillo de Arquímedes" y frecuentemente un moldeado final. Probablemente este Tornillo de Arquímedes es el elemento mecánico que mejor caracteriza a una máquina extrusora. En definitiva, se obtiene un producto que se cuece en el interior de una carcasa y que experimenta a la salida una súbita y fuerte expansión.

Los tipos y características de las máquinas extrusoras son muy variables: Pueden tener un tornillo, aunque ahora casi todas las marcas poseen dos (bi-vis o bi-tornillo), lo que confiere una versatilidad mucho mayor, por ejemplo la posibilidad de procesar materiales con elevada cantidad de agua o grasa; estos tornillos pueden estar engranados o no y la carcasa ser cilíndrica o cónica, pero además de estas

grandes diferencias, existen infinidad de detalles que mecánicamente las distinguen.

Durante la CE los parámetros de temperatura, presión, velocidad de alimentación, revoluciones de los tornillos, grado de cizallamiento, el propio producto y características mecánicas como son el número, disposición y secciones modulares de los tornillos, determinan el resultado de un proceso físico-químico complicado, cuyas bases y modelo matemático teóricos han sido ya en buena parte establecidos.

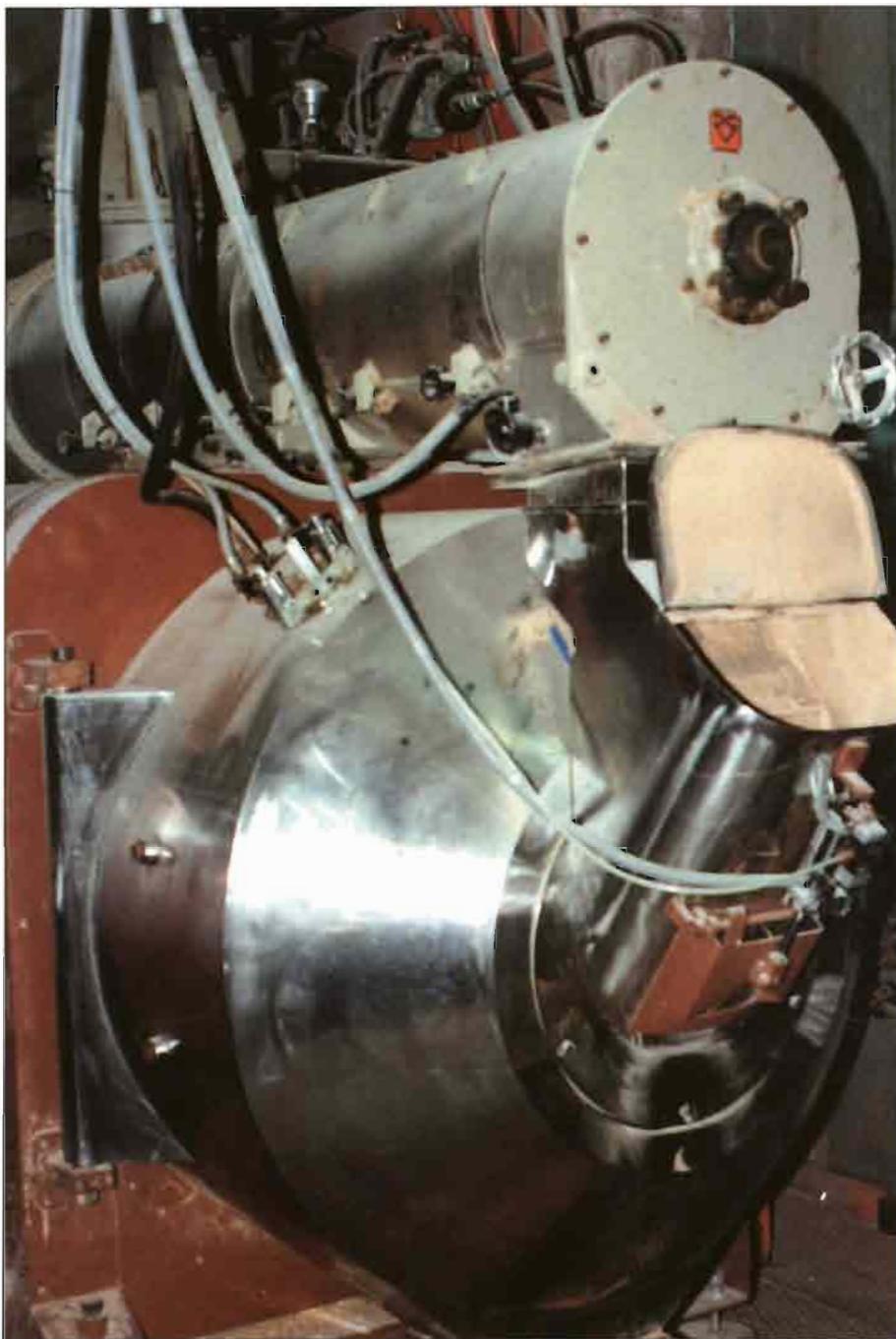
La lista de aplicaciones de la CE abarca campos de química de plásticos, donde en realidad nació, la industria papelera y la agro-alimentaria. Como es un proceso relativamente caro, la CE no es muy utilizada para fabricar piensos de animales, aunque sí se emplea para perros, gatos y peces. Actualmente el volumen de algunas materias primas, cereales y soja, así procesadas está aumentado, siendo su destino el mercado de piensos. La obtención de almidones modificados y proteínas texturizadas ha abierto nuevas perspectivas, y muchos de estos procesos pueden además combinarse con acciones químicas tradicionales.

La apreciación de la calidad del producto extrusionado puede hacerse siguiendo los métodos ya mencionados para los pellets. Dada la importancia e intensidad de la gelatinización del almidón, es frecuente medirla a través de índices de viscometría, birrefringencia, producción de maltosa por métodos enzimáticos... etc. Evaluaciones de las modificaciones en la estructura física incluyen entre otras, medidas de rehidratación, plasticidad y porosidad interna, (de Monredon 1987).

La cocción-extrusión afecta a los principios nutritivos, carbohidratos, proteínas y grasas, siendo la gelatinización del almidón la modificación más importante. Las características físicas también se alteran, sobre todo la textura y densidad del producto, lo que permite variadas aplicaciones en la industria de la alimentación animal, y desde luego en la humana.

El almidón crudo se compone a grandes rasgos de amilosa y amilopectina, que sufren una degradación macromolecular más intensa cuanto mayores son el calor y tiempo de tratamiento. Esta degradación se puede evaluar por difracción de rayos X, cromatografía y viscosidad intrínseca. La sensibilidad de almidón a la digestión enzimática aumenta y si bien en animales adultos la digestibilidad no mejoraría el almidón sería parcialmente hidrolizado en el estómago (Champ y Delort-Laval 1986) y habría una aceleración del tránsito digestivo. En animales jóvenes, cuyo sistema enzimático no está plenamente establecido, el efecto desde el punto de vista nutritivo parece positivo de acuerdo a trabajos experimentales recientes (Brufan de Barberá 1987, Wiseman 1988), y lo cierto es que en la práctica muchas fábricas de pienso incorporan soja y maíz tratados por CE a las fórmulas de starters de lechones y pollos.

Las semillas oleaginosas se caracterizan por un alto contenido en materias grasas y proteínas, la presencia de factores anti-nutritivos y naturalmente por tener almidón. La CE además de poder emplearse para separar el aceite del turtó proteico, grasas de residuo de matadero y de su papel ya comentado sobre el almidón, tienen un efecto específico sobre las sustancias mencionadas arriba.



**Figura 5. Sinfín alimentador y carcasa de matriz de granuladora 220 CV. Incorporación de vapor a sinfín y de grasa/melazas al pellet. Coop. Criadores Cerda Valencia (COCERVA) 1989.**

La CE insolubiliza en parte las proteínas, pero en general se considera que su valor biológico y digestibilidad son comparables al resultado de aplicar otros procesos de alta calidad tecnológica. En condiciones normales de temperatura no superior a 150 °C la calidad se mantiene, porque si excede se forman los productos que caracterizan la reacción de Millard y el valor nutritivo de la proteína podría disminu-

nuir de modo significativo. La CE se ha propuesto en la alimentación de ruminantes como un medio de limitar la degradación ruminal de las proteínas. Varias investigaciones han comprobado que el principal efecto es aumentar el flujo o presencia de nitrógeno en el intestino delgado, porque las fracciones proteicas fermentescibles disminuyen (ver Tabla V).

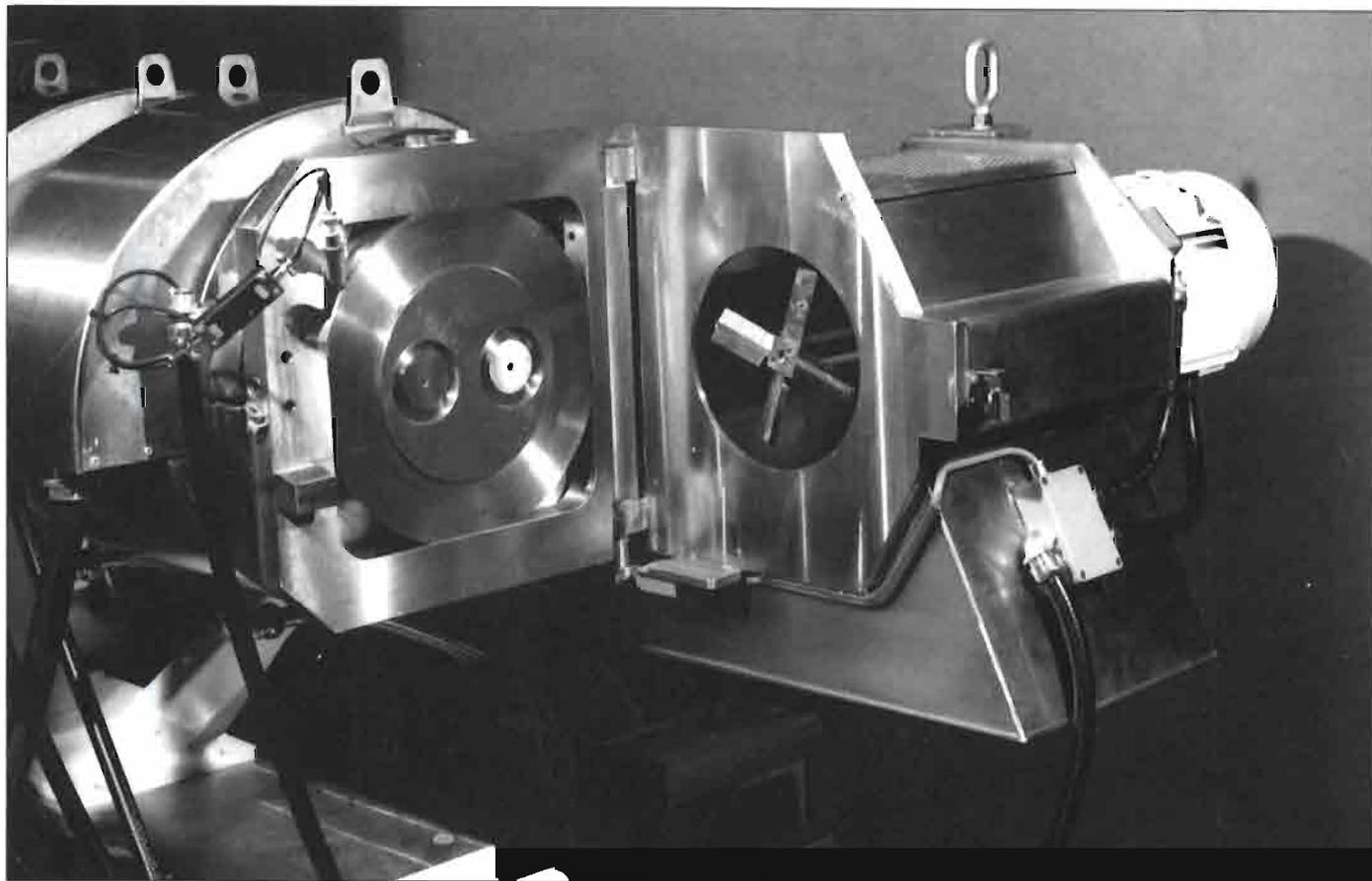


Figura 6. Cabecal de extrusor CLEXTRAL. Boquillas de salida y cizallador. Neu-Aerodinámica 1989.

La CE permite la fabricación de piensos con un porcentaje de grasa añadida muy alto, y manteniendo un índice de friabilidad adecuado. Las grasas así procesadas se conservarían bien porque la acción del calor destruye las lipasas responsables de su oxidación. Como la degradación comienza a los 180 °C, las grasas se mantienen estables a las temperaturas normales del proceso, inferiores a 150 °C, y en efecto, no se han encontrado diferencias nutritivas en la grasa de piensos extrusionados cuando se suministran a animales monogástricos.

Wiseman (1988) encontró en pavitos de 2 a 5 semanas de edad que el valor de la energía metabolizable de soja integral extrusionada era superior al relativo de soja tostada, sugiriendo que la causa podría ser el tratamiento mecánico, que facilitaría la asimilación del aceite.

Las grasas de materiales extrusionados parece que sufrirían una hidrólisis ruminal relativamente limitada, pero el efecto varía con la naturaleza de la materia prima, parece menos importante en las semillas que en los turtós, y en cualquier caso no está bien estudiado.

La presencia de factores anti-nutritivos o tóxicos en las semillas, tales como taninos, lecitinas, aflatoxinas, glucósidos y antitripsinas es bien conocida. Los últimos citados son singularmente importantes en las semillas oleaginosas. La CE es un medio eficaz para su inactivación (Melcion y Valdevouze 1977). La producción de calor intenso durante unos segundos, que tiene lugar durante la cocción, realmente esteriliza el producto, eliminando la contaminación bacteriana o fúngica al tiempo que componentes volátiles desagradables desaparecen.

El proceso de expansión de los granos altera la densidad del producto, de tal manera que la densidad puede ser la mitad de un gránulo tradicional, y modifica su textura. Ello permite su rehidratación, cualidad que se aprovecha en numerosos procesos industriales y también en la fabricación de piensos para animales. La CEE es probablemente el único medio práctico de conseguir pellets de distinto grado de flotabilidad, propiedad imprescindible en la alimentación de muchas especies de peces.

## BIBLIOGRAFIA

- BRUFAN DE BARBERA, J. 1987. *La utilización de emersoy en piensos para el ganado de cerda*. OESA, Hoja Técnica n.º 5.
- CHAMP, M. y DELORT-LAVAL, J. 1986. *Mode de digestion chez le rat de l'amidon de ble natif ou traité hydrothermiquement*. En *Cuisson-Extrusion*, 209-222, Paris.
- DE MONREDON, F. 1987. *Mesures de caractéristiques physiques de produits extrudés*. En *Cuisson-Extrusion*, 177-188 INRA, Paris.
- HEADLEY, V. y KERSHNER, R. 1968. *Adding animal fat to pelleted feeds*. *Feedstuffs*, Vol. 40, n.º 30.
- LEGOY, M. 1988. *L'extrusion a sec en alimentation animale conventionnelle*. En *Cuisson-Extrusion*, 267-276 INRA, Paris.
- MELCION, J. P. 1988. *Oleo-proteagineux et cuisson-extrusion*. En *Cuisson-Extrusion*, 235-248 INRA, Paris.
- MICHALET-DOREAU, B., DOREAU M., VOISIN A. y BOGAURI C. 1988. *Effets de l'extrusion sur la valeur azotée des aliments pour ruminants*. En *Cuisson-Extrusion*, 249-258 INRA, Paris.
- WISEMAN, J. 1988. *Estudio sobre el valor nutritivo de la soja integral emersoy en la alimentación del pavo*. OESA, Hoja Técnica n.º 7.