

NUEVO SISTEMA PARA COMPRESIÓN DE ADITIVOS EN POLVO

Muro, J.; Alba, F.; Gómez, J. A.; Cremades, L. V.; Fernández, R.

Abstract

Food additives are substances not usually ingested as regular food but which are added to food so as to improve the nutritional quality, preservation, properties, manufacturing process, etc. In the agro--alimentary industry, two methods are fundamentally used to dose additives: control liquid (water dissolved additive) and tablets. The latter method displays doubtless advantages with respect to the former: optimal hygiene, more accurate dosing, longer life of equipment and machinery, less environmental pollution, etc., but it is not always possible to apply it. Some mixtures are specially hard to compress, when not impossible, due to the high erosion and corrosion that they cause in matrices and striker pins, the great adhesion of some compounds to the walls of the equipment or the low compressibility of some additives. In order to solve these disadvantages, the product design method known as Quality Function Deployment (QFD) has been used. The results obtained propose, among other modifications of the machinery, a new system denominated "SPLIT MATRIX". It consists of a matrix split in two parts, that will remain together during the filling and compression of the mixture, working as a conventional system, but that will be opened leaving a gap of a few millimeters during the expulsion, thus easing the process.

Keywords: Additives, Food, Pills, QFD.

Resumen

Aditivo es cualquier sustancia que no se consume habitualmente como alimento, pero que se añade a éstos para mejorar su calidad nutricional, conservación, propiedades organolépticas, proceso de fabricación, etc..

En la industria agroalimentaria, se utilizan fundamentalmente dos métodos para dosificar los aditivos: líquido de gobierno (aditivo disuelto en agua) y comprimidos. El segundo método presenta indudables ventajas respecto al primero: óptima higiene, dosificación mas precisa, mayor duración de útiles y maquinaria, menor contaminación ambiental, etc., pero no siempre es posible aplicarlo.

Existen mezclas cuya compresión es difícil o imposible debido a la alta erosión y corrosión que provocan en matrices y punzones, la gran adherencia de algunos compuestos a las paredes de los útiles o la baja compresibilidad de algunos aditivos.

Para resolver dichos inconvenientes se ha empleado el método de diseño de producto denominado Despliegue de la Función de la Calidad (QFD, Quality Function Deployment) cuyo resultado propone, entre otras modificaciones de la maquinaria, un nuevo sistema, denominado "MATRIZ PARTIDA". Consiste en una matriz dividida en dos partes, que permanecerán unidas durante el llenado y compresión de la mezcla, funcionando como un sistema convencional, pero que se abrirán separándose unos mm durante la expulsión, facilitándola.

Palabras clave: Aditivo, comprimidos, matriz, QFD.

1. Introducción

El objetivo fundamental del presente trabajo es la aplicación del método de diseño de producto QFD (Quality Function Deployment) en el desarrollo de un nuevo sistema de compresión directa de aditivos alimentarios, que permita la obtención de comprimidos que en la actualidad son imposibles de fabricar.

La definición de aditivo alimentario según el *CODEX ALIMENTARIUS* FAO/OMS [1] es la siguiente:

"Cualquier sustancia que por sí misma no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo y cuya adición al alimento en sus fases de producción, fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte directa o indirectamente por sí o sus subproductos, un componente del alimento o bien afecte a sus características."

Los métodos de dosificación de aditivos más habituales en la industria alimentaria, y mas concretamente en la conservera, son el líquido de gobierno y los comprimidos [2]. El primer método consiste en disolver el aditivo en agua, que mediante diversos métodos, se introducirá en los recipientes de conserva hasta su rebose. El segundo método consiste en dosificar los aditivos comprimidos en una o varias pastillas que se introducirán en el recipiente en la cantidad exacta. Este último proceso presenta indudables ventajas como: óptima higiene, dosificación mas precisa, mayor duración de útiles y maquinaria, menor contaminación ambiental, etc., pero no siempre es posible aplicarlo.

En la industria farmacéutica se utilizan técnicas de compresión de productos farmacéuticos muy depuradas y contrastadas y no presentan problemas a la hora de fabricar comprimidos debido a que la concentración de compuesto activo (c.a.) es bastante baja (menos del 20%), siendo el resto, excipientes de diferentes tipos que mejoran la cohesión, el acabado, la dureza, etc. y también facilitan la compresión. Sin embargo en el sector alimentario los comprimidos deben estar compuestos de casi el 100% de aditivos, quedando una muy pequeña proporción para excipiente [3].

En la actualidad se consiguen fabricar comprimidos con una gran variedad de mezclas de aditivos, pero no con todas. Determinados productos presentan dificultades en la compresión debido a la alta erosión y corrosión que provocan en matrices y punzones, gran adherencia a las paredes de los útiles o baja compresibilidad de algunos aditivos. Todos estos problemas se traducen en una vida excesivamente corta de los útiles, mantenimiento elevado y rotura o bajísima calidad de los comprimidos, lo que imposibilita su producción industrial [4].

El sistema utilizado hasta el momento por la mayoría de las empresas es el convencional: una prensa que comprime el aditivo en polvo contenido en una matriz cilíndrica al ser presionado entre dos punzones. Este método fracasa con algunos compuestos al griparse la máquina en la última fase de la compresión o durante la expulsión, por los motivos que ya se han comentado. Aumentando la potencia de la máquina se puede conseguir extraer el comprimido pero ello implica un gran desgaste de la matriz y deterioro del comprimido.

Para evitar dichos inconvenientes se propone un nuevo sistema de matriz, denominado "MATRIZ PARTIDA", cuya singularidad consiste en que está dividida en dos partes, que permanecen unidas durante el llenado y compresión de la mezcla, funcionando en esta fase exactamente igual que una matriz convencional, pero durante la expulsión, las dos semimatrices se separan unos milímetros, facilitando la expulsión del comprimido.

2. Aplicación del metodo de diseño "despliegue de la función de la calidad" (QFD).

El “Despliegue de la Función de Calidad” (QFD, por las siglas inglesas de Quality Function Deployment) es un método de diseño de productos y servicios que recoge la voz del cliente y la traduce, en pasos sucesivos, a características de diseño y operación que satisfacen las demandas y expectativas del mercado [5].

El núcleo del QFD es un mapa conceptual que relaciona los requerimientos de los clientes con las características técnicas necesarias para satisfacerlos. Estas relaciones se presentan en forma de una tabla compleja llamada “matriz de la calidad”. Tomados en su conjunto, los requerimientos de los clientes definen la calidad de un producto y son las expresiones que los clientes utilizan para describir los productos y sus características deseables. Asociada con cada característica técnica existe una métrica, que se usa para determinar el grado de satisfacción de los clientes con cada uno de sus requerimientos.

Se realizan los siguientes pasos, que irán dando sucesivas tablas de datos hasta obtener el resultado final. De una forma muy resumida, el proceso se compone de las siguientes fases:

- Identificación del cliente (Fase 0).
- Matriz de planificación del producto (Fase 1). Se deben averiguar las necesidades o expectativas del cliente y organizar éstas por tipos de requerimientos en la Matriz de Planificación del Producto. El siguiente paso es cuantificar las prioridades que éste tiene respecto a las expectativas.
- Matriz de desarrollo de las partes significativas (Fase 2). Empleando la “*matriz de selección de alternativas*” como base se deben determinar las partes o subsistemas críticos del sistema escogido. A continuación se determinan las características técnicas asociadas a los requerimientos del producto para cada uno de los subsistemas y se cuantifican.
- Determinar las acciones a realizar (Fase 3). Generación de prototipos. Una vez completada la matriz de Planificación del Desarrollo de los Componentes, se prestó especial atención a las características técnicas cuyos factores de importancia habían obtenido la máxima calificación. Estas características se convirtieron a partir de entonces en las **CLAVES CRÍTICAS PARA EL ÉXITO DEL PROYECTO**:
 - Numero de comprimidos/min
 - Sistema de automatización

Una vez desarrollado el sistema QFD y vistos los resultados se debe realizar un estudio más exhaustivo de los sistemas que habían demostrado ser críticos. El SISTEMA DE DOSIFICACIÓN ya se encontraba desarrollado y era bien conocida su efectividad y aplicación industrial. El estudio se centró en el SISTEMA DE COMPRESIÓN.

3. Desarrollo de las acciones propuestas en el QFD.

El método QFD ha permitido identificar la alternativa adecuada para satisfacer las necesidades del cliente, así como sus partes fundamentales y los requisitos que cada una de ellas debía cumplir. Partiendo de estas conclusiones se desarrolló un prototipo que ha cubierto las expectativas previstas y que se detalla a continuación.

3.1. Estudios previos

Tras hacer un desarrollo de los conocimientos actuales sobre la geometría mas adecuada de los comprimidos, materiales y geometría de punzones y matrices, pretratamientos y dosificación de los aditivos, así como los sistemas actuales de compresión, se pasa a desarrollar la solución elegida.

3.2 Sistema de compresión propuesto

Entre las soluciones de mejora que se plantean destacan las siguientes:

- Matriz partida: Va a ser el eje del desarrollo de esta investigación y explicado en detalle a continuación.
- Compresión de doble efecto: Aunque existe maquinaria que fabrican comprimidos utilizando la compresión de doble efecto (simultáneamente desde los dos lados opuestos), la mayoría de prensas para este tipo de comprimidos son de simple efecto. Con la modificación de una leva, que se explica posteriormente, se consigue emular el sistema de doble efecto y poder así comparar ambos métodos, sin tener que cambiar de prensa.
- Punzones intercambiables: Se van a experimentar las distintas combinaciones entre punzones de cara plana o cóncava hasta determinar la más efectiva.

3.3 Proceso de compresión con matriz convencional

El proceso normal de fabricación de comprimidos consta de las siguientes etapas (Figura 1):

- **LLENADO:** Comienza con el llenado de la matriz con aditivo en polvo por medio del alimentador automático accionado por la prensa. El alimentador al retirarse enrasa el polvo y deja la cantidad exacta prefijada. Durante todo este paso el punzón inferior permanece inmóvil.
- **COMPRESIÓN:** Conforme se va retirando el alimentador, que simultáneamente enrasa el aditivo para que la cantidad sea la exacta, el punzón superior desciende comprimiendo la mezcla, mientras el punzón inferior permanece inmóvil.
- **EXPULSIÓN:** Primero comienza a ascender el punzón superior y un instante después el inferior, arrastrando con él al aditivo ya comprimido, que asciende hasta la superficie de la base. Al comienzo de un nuevo ciclo, el alimentador al avanzar para llenar de nuevo la cavidad, empuja al comprimido que caerá al almacén.

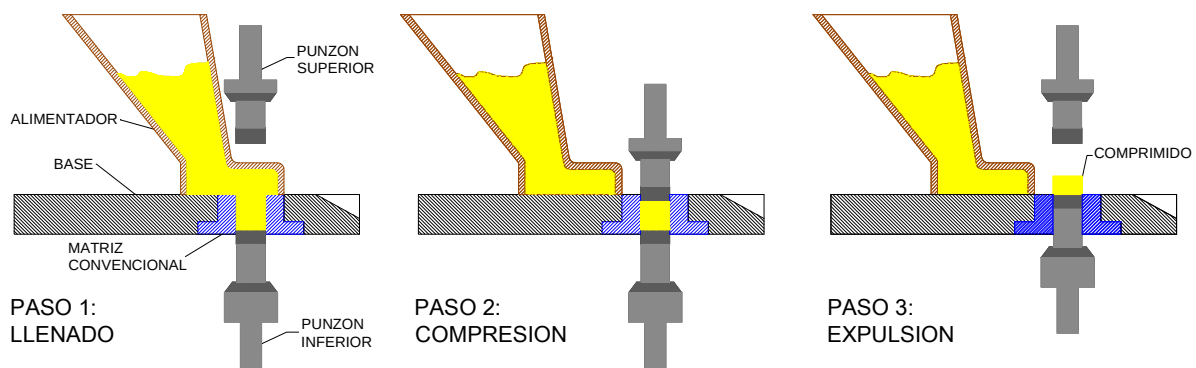


Figura 1: Proceso de compresión

Los problemas en la compresión convencional de aditivos se localizan en los siguientes pasos:

- Paso 2 (COMPRESIÓN): el punzón superior es incapaz de completar el ciclo y se gripa. Además algunas mezclas se pegan a los punzones y matrices.

- Paso 3 (EXPULSIÓN): cuando la pastilla es expulsada se produce un gran rozamiento con las paredes de la matriz, lo que puede provocar un desgaste excesivo.

4. Matriz partida

La matriz partida es una de las opciones que se han encontrado para solucionar los problemas mencionados anteriormente. Consiste en dividir la matriz en dos partes para que éstas se separen después de la compresión y permitan una mejor expulsión de la pastilla. Este proceso de apertura y cierre debe estar totalmente automatizado y coordinado con el proceso de compresión, lo que obliga a equipar a la máquina de un sistema de automatización. En la figura 1 se puede ver un detalle de la prensa.

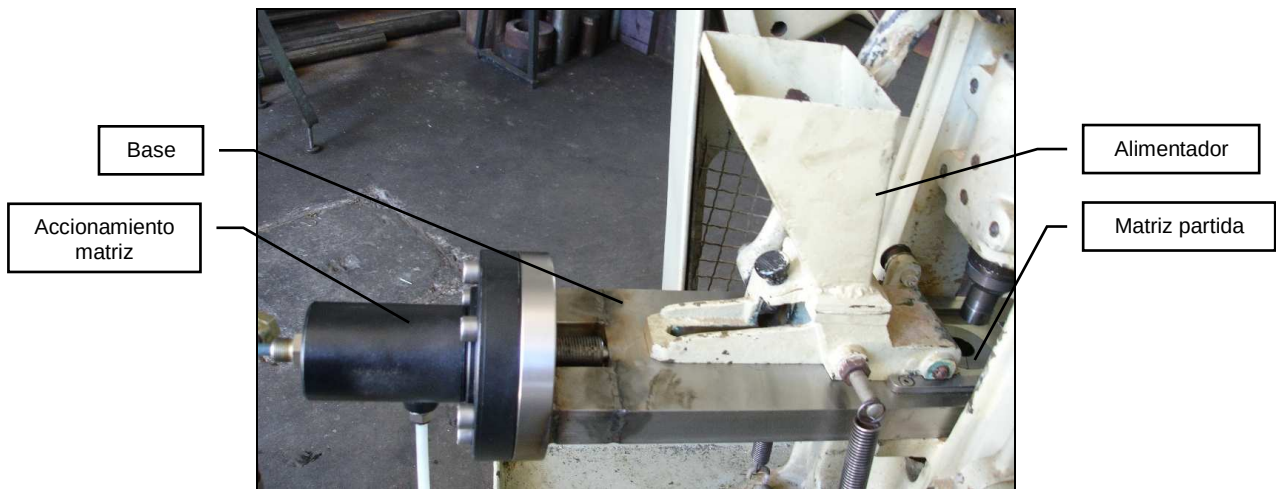


Figura 2: Detalle de prensa

4.1 Funcionamiento

Ahora el proceso de fabricación de comprimidos se realizará de la siguiente manera (ver figura 3):

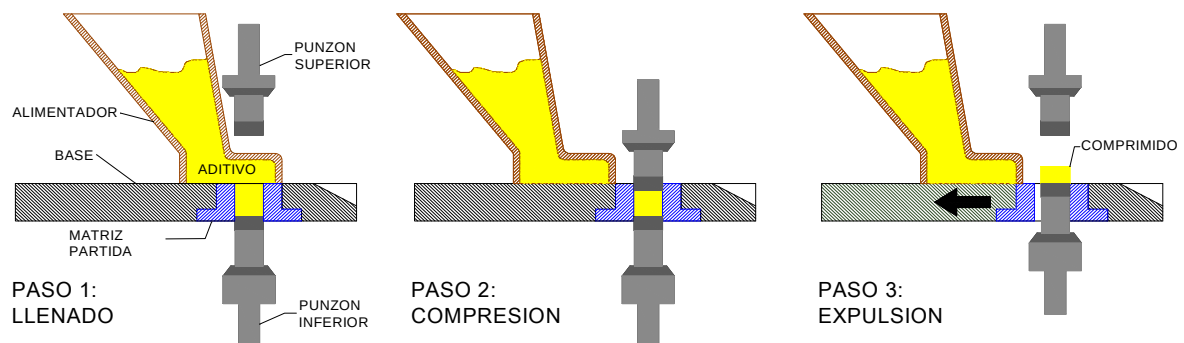


Figura 3.: Proceso de compresión con matriz partida

- LLENADO Y COMPRESIÓN: Igual que con la matriz convencional. Durante estos dos pasos el punzón inferior permanece inmóvil y la matriz cerrada.
- EXPULSION: Justo al final de la compresión el sensor detecta el dispositivo colocado al efecto para que se abra la matriz. Ésta se abre accionada por el cilindro hidráulico, que a su vez es comandado por el multiplicador de presión oleoneumático. El punzón

superior asciende para dejar paso al comprimido e instantes después lo hace el punzón inferior empujando al comprimido ya terminado. Mientras tanto la matriz permanece abierta. Una vez está el comprimido fuera, la matriz se cierra gracias a la señal enviada por el autómata a la válvula neumática. Por último el alimentador, en su recorrido para volver a llenar la matriz, empuja al comprimido hacia el almacén de producto terminado.

4.2 Partes del sistema

El sistema está formado por varias partes (ver figura 4):

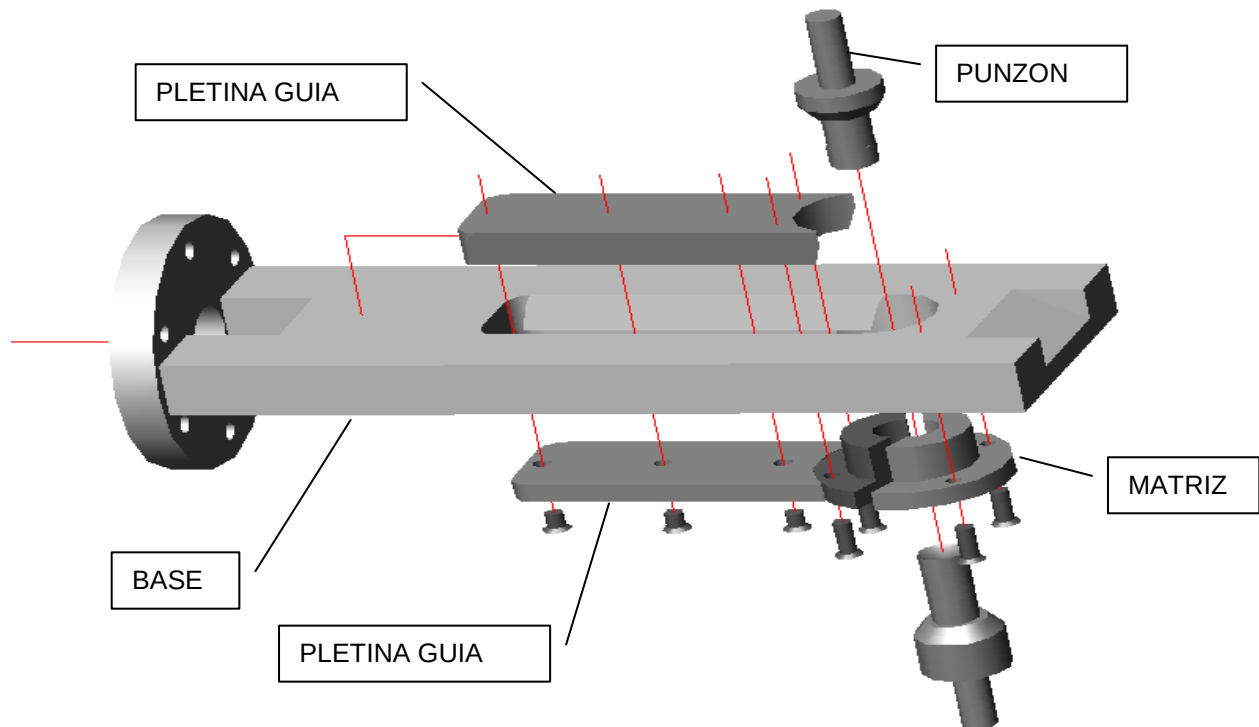


Figura 4: Vista en explosión del conjunto

- **MATRIZ PARTIDA:** Consiste en una matriz formada por dos partes o semimatrices metálicas, no simétricas para conseguir un mejor centrado y cierre. Una de ellas es fija y va anclada mediante tornillos a la base. La otra es móvil y va sujeta mediante tornillos a dos pletinas que hacen la función de guía para el desplazamiento dentro de la base (ver Figura 5).

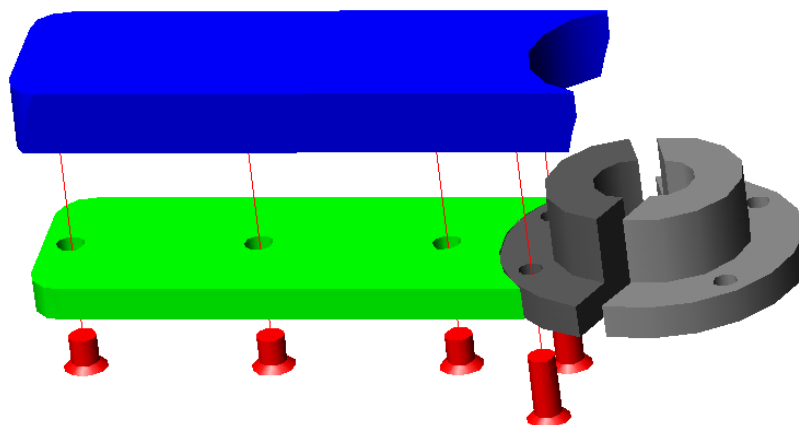


Figura 5: Matriz partida y guías.

- **GUIAS DE LA SEMIMATRIZ MÓVIL:** Son dos piezas de acero planas unidas entre sí por tornillos, sujetándose la semimatriz móvil a una de ellas, la inferior (ver Figura 5)). Se instalan una por la parte superior y otra por la inferior de la base, atornillándose entre sí y quedando por tanto sujetas a la base pero con posibilidad de deslizamiento longitudinal. En la guía superior va anclado el dispositivo de accionamiento.
- **PUNZONES:** No es necesaria ninguna adaptación y se pueden usar punzones convencionales.
- **BASE O SOPORTE DEL CONJUNTO:** Es una pieza de acero inoxidable sobre la que se coloca el resto de los componentes (ver figura 4). En un extremo se ancla la semimatriz fija, en la parte central se sitúan las guías y la semimatriz móvil, y en el otro extremo va colocado el sistema de accionamiento. Por la parte inferior se sujeta a la estructura de la prensa mediante 4 tornillos. Por la superficie superior desliza el alimentador que llena la matriz de aditivo en polvo.
- **ACCIONAMIENTO:** Dado que la gran presión que se produce en el interior de la matriz en el momento de la compresión provocaría la apertura de las semimatrices y por consiguiente la rotura del comprimido, se ha debido elegir un sistema que sea capaz de contener esos esfuerzos. Se ha optado por utilizar un cilindro hidráulico accionado por un multiplicador de presión oleoneumático. Este sistema refleja las ventajas de los dos tipos de accionamiento: hidráulico y neumático. (Ver figura 6)



Figura 6: Sistema de accionamiento oleoneumático

- **AUTOMATISMOS:** La apertura y cierre de la matriz es controlado por un autómata que recibe la señal de un sensor situado adecuadamente, en el momento preciso.

5. Leva de expulsión

La prensa dispone de una leva que, por medio de un seguidor y un balancín, eleva el punzón inferior para efectuar la expulsión del comprimido. Esta prensa es de simple efecto, como la mayoría de las utilizadas para este propósito, y mediante la leva diseñada se va a modificar para conseguir un efecto similar a una prensa de doble efecto. Para ello se ha diseñado y construido una nueva leva que sustituye a la que sirve para expulsar el comprimido fabricado. La modificación realizada consiste dotar a la leva de un nuevo perfil que, antes de terminar la compresión, entre en contacto con el seguidor para que ambos punzones se muevan simultáneamente comprimiendo la pastilla en los dos sentidos (Ver figura 7). La carrera del punzón inferior será de 3 mm que coincidirán con los 3 mm últimos del recorrido descendente del punzón superior.

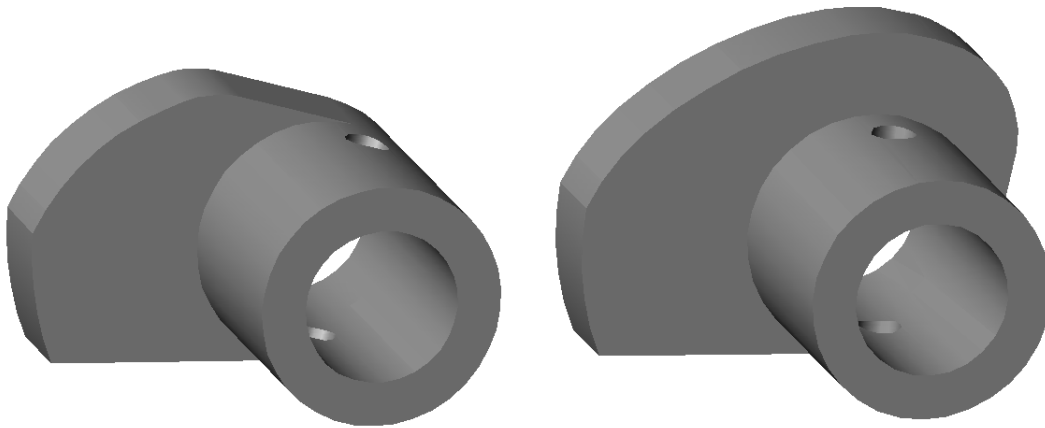


Figura 7: Vista en 3d de las levas original (izda) y modificada (dcha.)

6. Ensayos realizados

Las pruebas experimentales se han realizado en los laboratorios del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de la Rioja. Se ha utilizado una prensa específica para la fabricación de comprimidos (BONALS B-30).

6.1 Determinación de las mezclas objeto de estudio

Inicialmente se realizaron pruebas con la máquina en estado original para comprobar el punto de partida de los ensayos. Con la tecnología y metodología aplicada hasta ese momento se conseguían fabricar comprimidos de varios tipos de compuestos, pero era muy difícil conseguirlo, entre otras, con mezclas de sal y ácido cítrico (DIAPIM PIQUILLO: 86% sal, 14% ácido cítrico) e imposible cuando este último estaba en una proporción superior al 16%. Supone un problema de importancia para la empresa, por la alta utilización de dicho aditivo y la conveniencia de dosificarlo automáticamente en pastillas. Hay otras mezclas que también son difíciles de comprimir, pero no aportan ningún problema diferente a los expuestos, y para evitar una excesiva dispersión en los ensayos se decidió centrarse en el aditivo SAL-ÁCIDO CÍTRICO.

Se determinaron los parámetros que influyen en el proceso y la metodología a seguir en los ensayos. Tras estos se llegaron a las conclusiones que se muestran en el apartado siguiente.

7. Conclusiones.

Un resumen de las conclusiones más importantes:

- Utilizando la matriz partida se han conseguido fabricar comprimidos con mezclas que antes no era posible.
- La utilización de punzones con cavidad esférica proporcionan unos resultados óptimos para pastillas de solo sal o muy bajo porcentaje de ácido cítrico. Sin embargo no son adecuados para mezclas de alto porcentaje de ácido cítrico, ya que este queda adherido a la superficie del punzón y rompe al expulsarlo.
- El cambio de leva ha supuesto una notable mejoría, ya que esta permite la compresión simultánea de los dos punzones, lo que hace que la parte inferior del comprimido tenga la misma consistencia que la superior, evitándose la rotura.
- La proporción de ácido cítrico es importante, pero no determinante.
- La utilización de lubricante (estearato de magnesio) no es imprescindible, pero si mejora mucho el resultado.
- Las pastillas obtenidas tienen las condiciones físicas de dureza, densidad, compacidad adecuada para su manipulación y su tiempo de disolución es correcto
- El tiempo que permanece abierta la matriz (tiempo de desactivación) y el momento exacto de la apertura (tiempo de activación) también son significativos.

Como resumen se puede afirmar que la utilización conjunta de la matriz partida y la nueva leva, junto a punzones planos y los parámetros de ajuste adecuados, permiten la fabricación de comprimidos con mayor porcentaje de ácido cítrico.

8. Referencias

- [1] Codex Alimentarius FAO/OMS. 2006.
- [2] Multon, J. I., *"Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias"*, Ed. Acribia, 1988.
- [3] Ash, M., *"Handbook of food additives: an international guide to more than 7000 products by trade name, chemical, function, and manufacturer"*, Ed. Gower. 1996
- [4] Cubero, N. *"Aditivos alimentarios"*. Ed. Mundi-Prensa, 2002
- [5] González, M. E., *"La Función Despliegue de la Calidad. Una guía práctica para escuchar la Voz del Cliente"*. Ed. McGraw-Hill Interamericana. 2001.

Agradecimientos

Este proyecto está financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia dentro del Plan Nacional de I+D+i (2004-2007), con código DPI 2006-02454 y por el 3º Plan Riojano de I+D+i del Gobierno de La Rioja.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Fernando Alba Elías

Universidad de La Rioja. Departamento de Ingeniería Mecánica. Edificio Departamental.
C/ Luis de Ulloa 20, 26004 Logroño (España).
Phone: +34 941299276 Fax: +34 941299794
E-mail: fernando.alba@unirioja.es URL: <http://api.unirioja.es/edmans/>