

Control y optimización de la molienda con el SDmatic de CHOPIN¹

Ahmed BENAMARA ², Arnaud DUBAT ³

Traducción CONCEREAL ⁴



Harinera NEOFAR, Azazga Argelia.

¹ Basado en el trabajo presentado por Ahmed Benamara en el 10º Seminario de CHOPIN Technologies en Paris, Mayo 2009.

² Harinera NEOFAR, Azazga, Argelia

³ CHOPIN Technologies, Villeneuve la Garenne, France

⁴ CONCEREAL, Consultores Cerealistas, Barcelona, Spain

Este artículo está relacionado con la aplicación del SDMatic de Chopin, una herramienta destinada a laboratorio, que la harinera argelina NEOFAR ha decidido emplear en producción.

Contexto

Argelia es un país con un elevado consumo de cereal. Su consumo anual se estima en 220 kg de trigo por habitante. En comparación, el consumo anual de los franceses, conocidos por su alto consumo de pan, es de 50 kg de trigo por habitante. En promedio, desde 2004, Argelia lleva produciendo 2,3 millones de toneladas métricas de trigo al año, importando 6 millones de toneladas métricas, convirtiéndose así en uno de los principales países importadores del mundo.

La industria molinera argelina

El precio del trigo vendido a las harineras está subvencionado y fijado por decreto, estableciendo el precio por tonelada métrica aproximadamente en 172 USD (precio entregado a la harinera en 2009). Este precio subvencionado explica el precio por tonelada métrica de la harina, que también está limitado por decreto, en 267 USD. La prohibición de exceder este precio de venta explica la atención que prestan los molineros argelinos a la mejora continua de su gestión. La rentabilidad se basa, entre otras cosas, en la capacidad de los harineros de controlar los costes de producción y optimizar el funcionamiento de la fábrica para asegurar la mejor productividad posible.

Además, no se puede comprar la cantidad de trigo que se quiera (sistema de cuotas). Cada molino recibe el 50% de su capacidad instalada para 5 días de la semana, lo que representa aproximadamente el 35% de la producción teórica para una semana completa. Esto significa que los molineros en Argelia necesitan prestar mucha atención a los costes de producción, particularmente a los costes fijos. Esto se debe a que con el 35% de trigo, la herramienta de producción solo puede ser rentable bajo una gestión rigurosa y una vigilancia extrema de todos los costes de la empresa.

Harinera NEOFAR

Visión general

Neofar es una empresa familiar fundada en 2001. La harinera, con una capacidad de 150 toneladas métricas al día, se encuentra en la región de Azazga, a 130 km al este de la capital, Argel. Está asentada en unas instalaciones de 14.000 m².

La tasa de rendimiento del trigo que entra, con pre-limpieza, es de 100 toneladas métricas por hora. La capacidad de almacenaje es de 10.000 toneladas métricas con 6 silos de 1.500 toneladas métricas cada uno y 4 mezcladoras de 250 toneladas métricas.

La harinera está dotada con maquinaria italiana convencional. El sistema incluye 4 molinos de trituración, 3 cilindros de compresión gruesos y 6 cilindros de reducción finos. El laboratorio está tan equipado como es posible: Nilema Litro para peso específico, EM10 para contenido de agua, Falling Number 1500 con molino de trituración KT 120, horno de mufla MLI1100 para las cenizas, Alveo-Consistógrafo, tamizador Rotachoc, analizador de proteína y determinador de almidón dañado SD Matic.

La molinera participa en el cumplimiento de la norma ISO 22000

Costes de producción

Hemos presentado un análisis muy detallado de nuestra producción. La **Figura 1** muestra que el 45% de los costes de nuestra materia no prima (trigo) están asociados a las amortizaciones, seguida de las nóminas y puede apreciarse que la electricidad es el tercer mayor gasto de los costes fijos.

Es fundamental monitorizar nuestro consumo de energía de una manera muy cercana. Nuestro estudio nos llevó a comparar los costes de energía en Argelia y en Francia. En Argelia, el coste por kW puede variar en un rango de 1 a 7 dependiendo del momento del día (horas punta, periodo nocturno, etc). Controlando estos periodos se pueden hacer ahorros considerables. En segundo lugar, la elección de la potencia instalada a cargo de la empresa también es importante. Por último, una tercera área de gastos está relacionada con los picos de funcionamiento. Los costes extras asociados a esos picos se pueden minimizar de forma simple y pragmática.

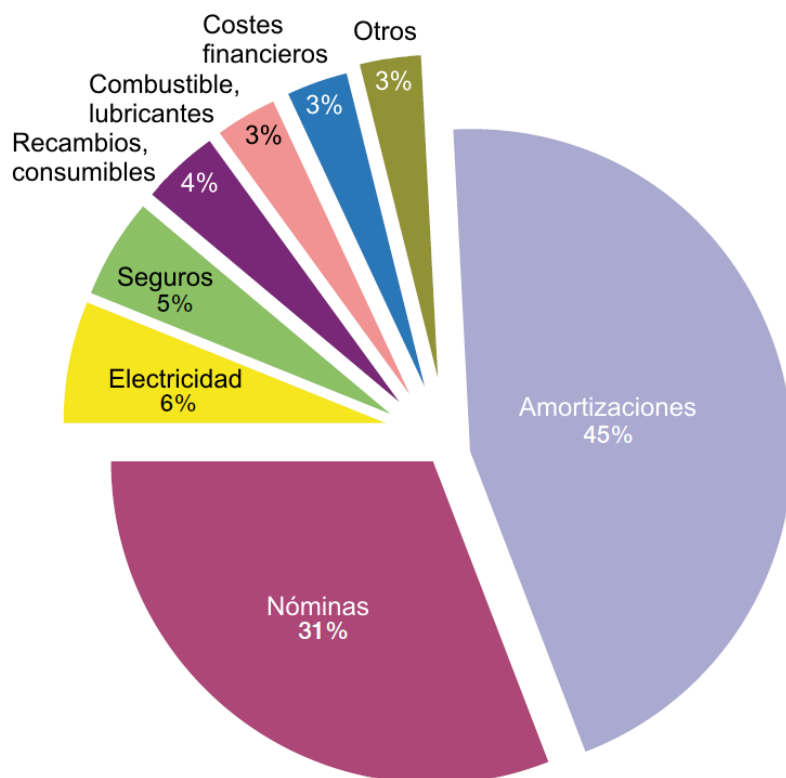


Figura 1. Desglose de costes fijos de producción

Herramientas de evaluación

La harinera NEOFAR se puso en marcha bajo un contexto económico favorable, pero rápidamente nos enfrentamos al problema de la contratación de molineros experimentados. La empresa decidió formar a jóvenes titulados sin una formación directa en molinería. La supervisión por parte de expertos molineros permitió a un equipo joven desarrollar las habilidades básicas para hacer funcionar un molino. De esta manera, y a todos los niveles de la empresa, se instalaron herramientas de medida e instrumentos electrónicos para reproducir, con la mayor precisión posible, las actuaciones de molineros experimentados.

Por ejemplo, incorporamos el tamizado para medir la fineza de los productos molidos: el amperímetro actúa como guía para ayudarnos a ajustar nuestros cilindros y establecer que no existen problemas potenciales: también medimos la temperatura de los cilindros con termómetros de infrarrojos.

Para completar este sistema, hemos incluido el SDMatic, una herramienta de laboratorio que hemos decidido aplicar al control de la producción.

SDMatic y almidón dañado

El SDMatic de Chopin (**Figura 2**) mide el daño en el almidón en menos de 10 minutos. El principio de medida, basado en la afinidad del yodo para el almidón, fue descrito por DUBAT (2004). En resumen, se coloca una muestra de harina en una solución de yodo, en la cual el sistema mide la corriente eléctrica (μA) que es proporcional a la cantidad de yodo libre en la solución. Cuanto mayor sea el daño en el almidón, mayor será la cantidad de yodo fijado y menor será la corriente residual al final de la prueba. El método está estandarizado por ICC, AFNOR y, actualmente por AACC (DUBAT, 2010).

La importancia del almidón dañado en las características reológicas de las harinas ha sido discutida por varios autores (DUBOIS, 1949; VIOT, 1992). Está claro que el exceso de almidón dañado incrementa la capacidad de absorción de agua de la harina pero puede ocasionar que la masa se vuelva pegajosa y se adhiera durante el

proceso de producción, además de favorecer una fermentación excesivamente rápida. Esto daría lugar a un pan plano y de coloración intensa. Los autores se muestran de acuerdo con que dependiendo de las variedades de trigo empleadas (duro/blando) y del uso final de la harina, existe un valor de daño óptimo para el almidón.

WILLM (1977) jugó un papel importante para concienciar a la industria harinera para controlar el daño del almidón. Demostró que el daño del almidón se incrementa desde los flujos de molienda iniciales hasta los finales y observó que ese aumento es especialmente notable en los cilindros lisos.

También indicó que la mayor fuente de daño del almidón son los flujos del inicio de la compresión y desagregación. WILLM también estudió la influencia de la configuración de los cilindros (ajuste, velocidad de alimentación, presión, etc) e hizo sugerencias interesantes de cómo optimizar el grado de daño del almidón total en la producción de harina.

Aplicaciones en el molino NEOFAR

En primer lugar, queremos destacar un punto esencial que constituye la base de toda la información suministrada en este documento: nosotros determinamos, a priori, un valor objetivo del grado de daño del almidón, denominado: punto de funcionamiento óptimo. Podemos evaluar cómo de acertado o lejano es nuestro objetivo en base a este punto de funcionamiento. Es importante tener en cuenta que todos los valores calculados son completamente relativos y solo son relativamente válidos para nuestro punto óptimo.

Por ejemplo, para “Baguette francesa”, producimos harina con un grado de daño del almidón entre 17 y 19 UCD. Este grado puede aumentar hasta 19-21 UCD para harinas destinadas a pan de molde fabricadas a partir de variedades de trigo fuerte; y bajar hasta 14-16 UCD en las harinas destinadas a pastelería.

En términos de frecuencia de los ensayos, nosotros hacemos de 1 a 3 pruebas diarias en funcionamiento normal: se realizan medidas sistemáticas cuando cambian las variedades de trigo y después de cualquier manipulación del personal técnico en el molino. Además, nuestro sistema de trazabilidad está basado en números de lote que se incrementan automáticamente después de cada intervención. Este sistema mantiene a cada responsable del molino informado a tiempo real de todo lo que suceda en el mismo.

Proceso de molienda y almidón dañado

Para el tamizado, la **Tabla I** proporciona una visión general de nuestros valores objetivo de referencia. La **Tabla II** muestra los resultados del estudio de las harinas de cada flujo de molienda, la primera columna contiene la extracción media de cada flujo y la segunda, el grado de daño del almidón en UCD (en este caso, para una harina de panificación tipo 55). Este estudio reveló rápidamente el potencial del SDMatic como herramienta de control del proceso de producción.

Tabla I. Valores objetivo de referencia		
Flujo de molienda	Tamizador (μm)	Extracción %
B1	1000	30-35
B2	1000	50
B3	670	30
CL1	160	50
CL2/CL1	160	60

Puesto que la trituración solamente representa el 21% del total de la harina, si algo sucede en esta sección, su impacto será limitado. Nosotros prestamos más atención a los flujos principales de la molienda, confirmando las observaciones formuladas por WILLM (1977). No nos hemos centrado en los flujos C5 y C6 debido a su pequeña contribución a la harina total.

Por otro lado, prestamos mucha atención a los flujos de molienda en el inicio del proceso de desagregación/compresión (CL1, CL2/C1, C2, C3) que son las más importantes para el control del grado de daño del almidón.

También notamos que el daño en el almidón parece seguir la ley de mezcla. Es posible calcular la contribución de cada flujo en el total del almidón dañado, multiplicando el grado de daño del almidón de cada flujo por la

tasa de extracción correspondiente a ese mismo flujo. La suma aritmética hace posible predecir el total del

Tabla II. Análisis de flujos de molienda, extracción y daño del almidón				
Flujo de molienda	Extracción (%)		Almidón dañado	
			UCD	%
B1	6,8	21	16,5	6,5
B2	7,9		17,1	7,9
B3	5,3		16,9	5,2
B4	1		17,1	1,0
CL1	15,7	65	18,0	16,4
CL2/C1	18		17,5	18,3
CL3	2,8		22,3	3,6
C2	17,7		13,9	14,3
C3	10,8		14,1	8,9
C4	1,8	14	20,6	2,2
C5	1,9		23,1	2,6
C6	1		25,0	1,5
Vibro	5,4		26,8	8,4
Secador	3,9		12,6	2,9
Tipo 55	100	100	17,2	100

Deberemos considerar nuestro punto óptimo de funcionamiento (nuestro valor objetivo) establecido en 21 UCD en la **Figura 4** y correspondiente a un espacio de cilindro de 0.27 mm. A partir de aquí, si los cilindros están tensados, observamos inicialmente un incremento significativo en el daño del almidón. Sin embargo, a partir de un determinado momento, el ajuste no parece incrementar el daño. A partir del mismo punto, si se aflojan los cilindros se observa una significativa disminución, alcanzando un valor límite cuando los cilindros se separan de tal manera que ya no dañan el almidón en el flujo considerado. Es importante tener en cuenta estos fenómenos de saturación ascendentes y descendentes, independientemente del tipo de cilindro (acanalados o lisos). Por último, el intervalo de funcionamiento efectivo está situado en la parte lineal de la curva sigmoidea en la **Figura 4**.

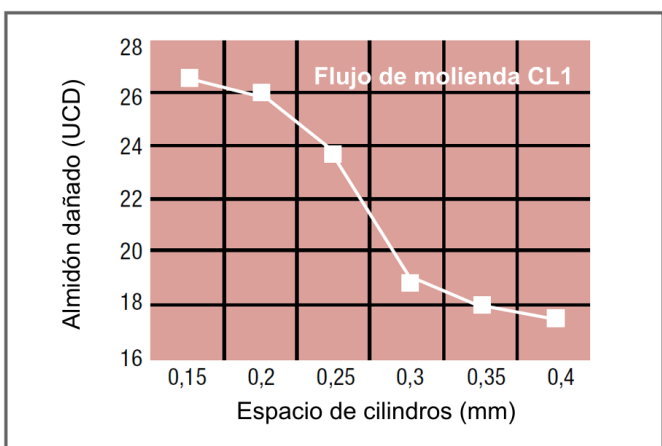


Figura 4. Correlación entre el apriete del cilindro y el contenido de almidón dañado (en este caso, CL1).

La suma aritmética hace posible predecir el total del daño de la harina completa como 17.1 UCD, que es muy próximo a la medida actual (17.2 UCD). Este análisis demuestra claramente que el 80% del total de daño del almidón procede mayoritariamente de los flujos principales (B1, B2, CL1, CL2/C1, C2, C3) (**Figura 3**)

Ajuste de los cilindros y almidón dañado

El ajuste de los cilindros influye en el grado de daño del almidón (DUBAT, 2004). Cuando realizamos nuestras medidas, observamos claramente que el grado de daño del almidón se correlaciona con el espacio de separación del cilindro siguiendo una curva sigmoidea (**Figura 4**).

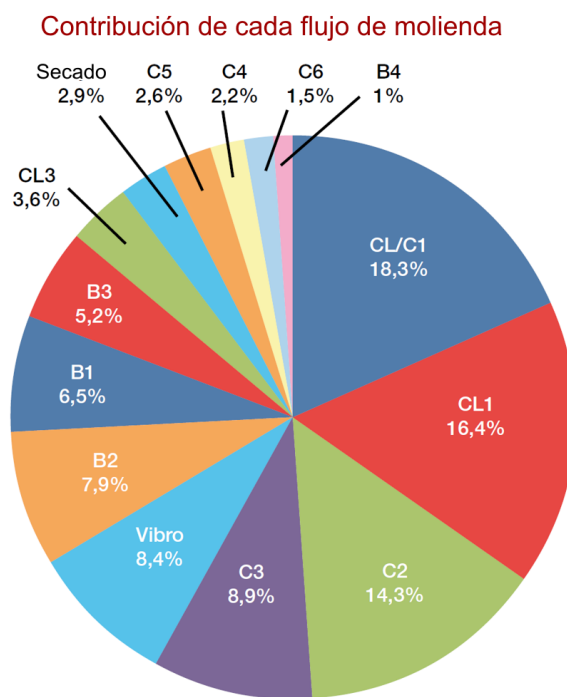


Figura 3. Porcentaje de daño de almidón de cada flujo en la molienda

El desgaste del cilindro depende de muchos factores. Entre ellos, la calidad de los propios cilindros, la calidad de la limpieza del trigo, la cantidad de trigo molido, la vitrosidad, el acondicionamiento del trigo y el ajuste del cilindro. Este desgaste tiene varias consecuencias en el proceso de molienda, incluyendo la menor extracción, mayor consumo eléctrico, calenta-miento del producto, problemas de tamizado del mismo y calidad de producto fuera de especificaciones.

Monitorización del consumo eléctrico

La **Figura 5** representa la progresión del consumo eléctrico en función del ajuste del cilindro (curva rosa). La curva blanca consiste en una curva exponencial teórica, que se establece en torno a un punto de funcionamiento que consideramos ideal para nosotros. Esto parecería indicar que sería posible controlar el ajuste de los cilindros con un amperímetro. Sin embargo, es necesario tener en consideración que los valores que se muestran aquí son valores promedio. Por ejemplo, para un punto indicado como 40 A, la medida oscila entre 35 y 43 A, dependiendo del flujo de material entrante.

Para permitir un análisis numérico, nosotros analizamos el impacto económico de un ajuste incorrecto en el flujo B2, para una potencia de 22 kW, que es estándar para nuestra harinera. En referencia a la **Figura 5**, se puede observar que el “ajuste incorrecto” puede tener un impacto significativo en el consumo de electricidad. Apretar el mecanismo del cilindro en una vuelta incrementa el amperaje medio en 6 A (de 37 a 43 A), por lo cual, si se ignorase este ajuste incorrecto durante un año, ello supondría un coste de hasta 840 USD basándonos en el precio por kWh de Argelia; lo que equivaldría a 3.250 € para un precio por kWh de 0,125 € en Francia.

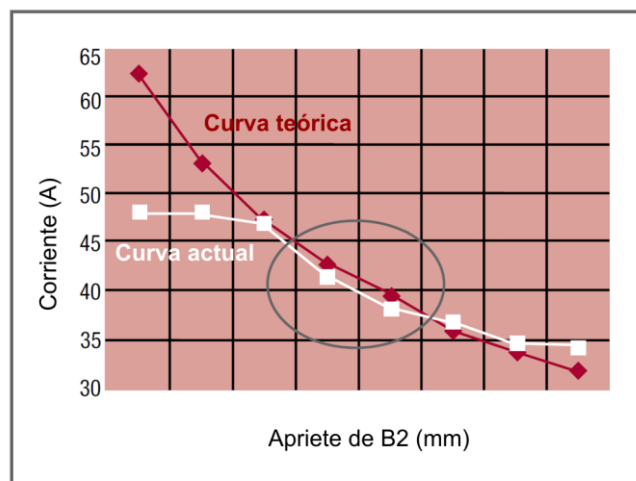


Figura 5. Progresión del consumo eléctrico en función del apriete

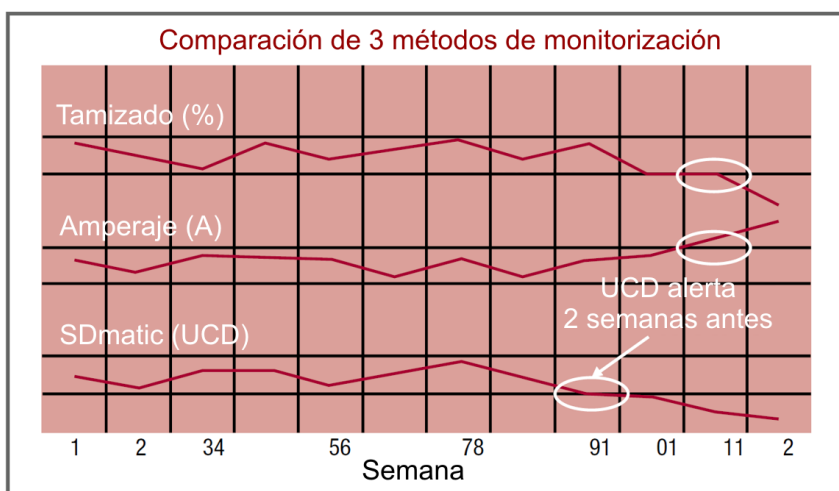


Figura 6. gráficos de monitorización de B2 con tres herramientas: tamizado, amperímetro y SDmatic

La **Figura 6** muestra los gráficos de control para B2 en el tiempo con 3 herramientas diferentes. Estudiamos el tamizado (valor objetivo = promedio de la extracción en un tamizador de 1.000 micras), el amperaje (valor objetivo = 37 A) y el grado de daño del almidón (valor objetivo = 17,1 UCD). Los primeros dos métodos, utilizados tradicionalmente en la industria molinera, son capaces de detectar ajustes incorrectos de los cilindros desde la semana 11. El control con el SDmatic proporciona la información desde la semana 9. Esta medida muestra una mayor inmediatez en la respuesta, con los consiguientes ahorros que resultan fáciles de calcular. En este ejemplo, 2 semanas de antelación evitarían unos costes adicionales de energía de 175 € para un único flujo de molienda.

El desgaste de los cilindros es además sinónimo de pérdida de la tasa de extracción. Por ejemplo, un 1% de pérdida de la tasa de extracción sobre la base de los precios de referencia de Argelia asciende aproximadamente a 2.640 USD para un período de 15 días.

Conclusiones

El SDmatic es un sistema diseñado para uso de laboratorio, pero también puede utilizarse para controlar el proceso de producción y, concretamente, para prevenir el desgaste de los cilindros. Nuestra experiencia ha demostrado que el SDmatic es capaz de detectar este desgaste casi 2 semanas antes que otros métodos rutinarios empleados en molinería. El retorno de la inversión se estimó en aproximadamente 23 meses, teniendo en cuenta las condiciones en Argelia, lo cual es considerable. Una extrapolación de esta situación a una harinera similar en Francia arroja un retorno de la inversión de solo 11 meses.

Referencias bibliográficas

- **DUBAT A.**, 2004. Importance de l'endommagement de l'amidon et évolution des méthodes de mesure. Industrie des Céréales, **137**, 2-8.
- **DUBAT A.**, 2010. Collaborative study concerned with measuring damaged starch using an amperometric method. Cereal Foods World **52(6)**, 319-323.
- **DUBOIS M.**, 1949, Incidences du réglage de la mouture sur les propriétés des farines. Bulletin EFM, **113**, 170-187.
- **VIOT D.**, 1992. Amidons endommagés ni trop, ni trop peu. Industrie des Céréales, **76**, 25-28
- **WILLM C.**, 1977. Contribution à l'étude de l'endommagement de l'amidon en mouture de blé tendre. Bulletin EFM, **277**, 13-25.