

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

616-56 FUNCIONAMIENTO DE LOS MOLINOS SEPARADORES

(Über die Arbeitsweise von Sichter-mühlen).

F. Kraus

De: "ZEMENT-KALK-GIPS", Vol. 7, nº 7, Julio 1954, Pág. 273

- - -

DESCRIPCION DE LAS DIFERENTES INSTALACIONES DE MOLLIENDA

Las experiencias realizadas en la fábrica de cemento Portland Hans Hatschek (Gmunden), con los tipos de molinos allí existentes, son una contribución al problema de la determinación de la eficacia de los molinos separadores.

La adquisición de los sistemas de molinos separadores estuvo condicionada, en Gmunden, ante todo, a las exigencias del momento. Las dos instalaciones de secado y molienda -denominadas abreviadamente MTA I y II- con separación por aire, han sido adquiridas en 1949-1950, y se han destinado, preferentemente, a la molienda de materias primas. De acuerdo con las experiencias realizadas se construyó la instalación de molienda de cemento; se organizó, análogamente, como instalación de secado y molienda (de forma abreviada se denominará, en este trabajo, por MTA III). Sin embargo, la disposición general permite moler en cada molino, independientemente de los res -tantes, las materias primas o el clinker.

Las siguientes consideraciones se han dedicado, en primer lugar, a la molienda del cemento. Las experiencias se dirigieron a la obtención de productos de calidad semejante, en todos los tipos de molinos; de esta forma se puede estable cer la comparación sobre la base del gasto realizado en cada uno de ellos.

Siguiendo esta consideración, se seleccionó un gran número de promedios de producción diaria de cemento, con resistencias, aproximadamente, iguales a los 28 días; algunos de ellos se han empleado, como ejemplos típicos, en las consideraciones siguientes. Las diferencias en el clinker deben y pueden, en primera aproximación, despreciarse; pues éste, mientras se realizó la investigación, presentó una calidad perfectamente regular, lo cual se debe, ante todo, a que han sido vencidas las dificultades, mecánicas y de combustible, de los primeros años de la postguerra. Las indicaciones siguientes se refieren, por completo, a clinker de cemento Portland, cocido en horno Lepol, sin mezclas de escorias. La constitución del clinker tiene la máxima influencia sobre el rendimiento de la molienda.

Para completar el cuadro se ofrece también una idea sobre los tipos de molinos existentes en Gaunden y sus formas de funcionar:

1. Molinos de trituración previa y de refinado. Año de construcción 1907, tipo Polysius (fig. 1). Cada uno de ellos se compone de un molino de tratamiento previo de los gruesos y de un molino, acoplado a continuación, tubular, de tres cámaras, para el refinado. Trabajan en circuito abierto. No poseen una verdadera ventilación, sino solamente aspiración para la eliminación de polvo.

2. Molinos para la molienda de primeras materias. Presentan instalación de secado y molienda, con separación por corriente de aire (MTA I y II; fig. 2). Año de construcción 1950, tipo Escher Wyss. Son tipos representativos de un gran grupo de molinos separadores que trabajan con separación mediante corriente de aire; son difíciles de diferenciar de los del otro grupo

(MTA III), que trabajan con separador centrífugo. Muchas veces se ha hablado de molinos separadores, sin más ni más, sin hacer una exacta distinción, lo cual es origen de múltiples equivocaciones.

El sistema de molienda con separación en corriente de aire trabaja de esta forma: El material entra por los aparatos de distribución, con dosificación simultánea y adición de aire frío, en un molino tubular de dos cámaras, relativamente corto. Después de la trituración, hasta un cierto tamaño de grano, se saca mediante una potente corriente de aire, producida por el ventilador. Esta corriente de aire, que representa una clase de transporte neumático con succión, con todas sus características, transporta la mezcla de materiales a través de un separador de aire, que actúa estáticamente (fig. 3); en éste, el producto grueso, dentro de unos límites regulables, se separa, mientras que el fino continua su camino. El producto grueso es conducido, mediante una canaleta, a la entrada del molino, para sufrir de nuevo, la molienda, mientras que el material fino se lleva a un ciclón, acoplado a continuación del separador, donde se separa de la corriente de aire; después se extrae por un transportador de hélice. El aire pasa, a continuación, al ventilador y es conducido, en parte, de nuevo al molino, y, en parte, es succionado mediante un ventilador más pequeño hacia una instalación, suficientemente grande, donde se separa del polvo; luego, es expulsado. Este ventilador produce vacío en toda la instalación, de forma que se introduce en el molino una cantidad de aire frío, igual a la extraída del circuito. De este modo se puede garantizar una buena ventilación del molino.

En la molienda de primeras materias, en esta instalación con secado simultáneo, se introduce en el molino, en lugar de aire frío, gas caliente (se prepara mezclando con aire los gases que se desprenden en los hogares de lignito). La humedad, evaporada durante la molienda de la primera materia, se extrae del sistema a través de los filtros de lana, utilizados para la separación de polvo. Cuanto mayor es el ventilador y más amplia la instalación para la separación de polvo, más gas caliente podrá introducirse en el molino, y, por consiguiente, se podrá evaporar más humedad de las primeras materias. Por lo tanto, menos sensible será el molino a la materia prima húmeda. Todo cuanto hemos dicho sirve, naturalmente, para la ventilación de los molinos en la molienda del cemento.

3. Instalación de molienda de cemento (MTA III). Molino con circuito cerrado, con elevador de cangilones y separador centrífugo (fig. 4). Año de construcción 1952, tipo Escher Wyss. En la molienda del cemento trabaja de la forma siguiente. El material que se ha de moler - en este caso clinker y yeso - se dosifica a la entrada del molino, mediante los aparatos adecuados; se conduce a un molino tubular, corto, y lo atraviesa, prácticamente, de igual forma que un molino "compound". A la salida del molino, la mezcla de material molido se lleva, mediante dos elevadores de cangilones, y canaletas, al citado separador centrífugo (fig. 5). En éste se puede regular la separación del material grueso y del material fino; el primero se conduce a la entrada del molino para una posterior molienda, mientras que el segundo, por el contrario, se conduce al transportador de hélice. Mediante un potente ventilador se succiona, a través del molino, una corriente, regulable, de aire. Se garantiza, de esta forma, una buena ventilación del molino. Este

aire pase por una instalación para la separación de polvo. Esta instalación lleva unos filtros de lona, que tienen la función de retener el polvo.

Al mismo tiempo, se realiza una succión a través de los elevadores y del transportador de hólice. De esta forma se consigue que, en todo momento, exista en toda la instalación un cierto vacío.

En la fábrica de cementos de Gaunden no se ha podido realizar todavía la molienda de primeras materias. Sin embargo, el autor indica que, en este caso, se ha de succionar a través de la instalación, en lugar de aire frío, una cantidad regulable de gas caliente, mezclado con aire frío; este gas caliente procede de los hogares que ya hemos indicado anteriormente. En este caso, procediendo de esta forma, se consigue una regulación de la temperatura. Por consiguiente, se puede realizar, al mismo tiempo que la molienda, un secado de las materias primas, lo cual reporta ciertas ventajas, como ya se indica posteriormente.

Cuando se procede a la molienda, de forma normal, del cemento, es suficiente emplear uno de los dos elevadores existentes en la instalación. Unicamente, cuando se trata de cementos de alta calidad, es necesario emplear los dos elevadores. Vemos, pues, que, de forma general, en el caso corriente de la molienda de un cemento ordinario, existe una reserva y se aprovechan mejor los dos elevadores.

Se han tratado, en lo que antecede, de forma detenida, los diversos tipos de instalaciones de molienda. Se ha con

seguido, como consecuencia, establecer, de forma concluyente, una diferenciación esencial entre ambos tipos de instalaciones, que, como ya hemos considerado anteriormente, suelen confundirse con frecuencia.

Por una parte, tenemos las instalaciones de molienda que, trabajando en circuito cerrado, utilizan separador de aire. Dentro de este tipo podemos citar el molino Humboldt, el molino Polysius y el molino Escher Wyss.

Entre las del segundo tipo de instalaciones de molienda, que son las que, operando en circuito cerrado, emplean elevador de cangilones, se pueden citar, como ejemplos típicos, el rotor doble Polysius y el molino con separador centrifugo.

CARACTERISTICAS DE LAS MAQUINAS

A continuación, vamos a considerar las diversas características que presentan las distintas máquinas que constituyen las instalaciones de molienda estudiadas.

Dentro de estas características se incluyen las dimensiones de los molinos, potencia de los motores, revoluciones por minuto, etc.

Estudiemos, por separado, cada una de las instalaciones citadas:

1. Molinos de trituración previa y de refinado.

Molino de trituración previa: 2.000 mm de diámetro interno; 1.650 mm de longitud; 20 r. p. m.

Molino tubular, acoplado a continuación: 1.800 mm de diámetro interno de la camisa; 6.000 mm de longitud subdividido en tres cámaras de igual longitud; 20 r. p. m.

Los cuatro molinos se mueven a pares, por transmisión; para cada par de molinos existe un motor de 450 Kw.

2. Instalación de secado y molienda (MTA I y II; fig. 6)

Molino de bolas de dos cámaras: 2.800 mm de diámetro interno de la camisa; 5.700 mm de longitud; 18 r. p. m.

Motor: 530 Kw; 740 r. p. m.

Ventilador: 1.450 r. p. m., acoplado directamente a un motor de 170 Kw. Cantidad extraída: 45.000 m³/h., a 90°C, con una altura de extracción de 670 mm (semestre de invierno).

Ventilador para la separación de polvo: 30 Kw. Cantidad extraída: 24.000 m³/h., a una altura de extracción de 220mm (semestre de invierno).

3. Molino, de circuito cerrado, con elevador de cangilones (MTA III; fig. 6).

Molino de bolas de dos cámaras: 2.800 mm de diámetro interno de la camisa; 6085 mm de longitud.

Motor: 530 Kw; 740 r. p. m.

Ventilador para la separación de polvo: 35 Kw. Cantidad extraída: 30.000 m³/h., a una altura de 250 mm (Semestre de invierno).

Dos elevadores de cangilones: 500 mm. de anchura de cangilón. Cantidad extraída: 65 t/h.

BLINDAJE DE LOS MOLINOS

Sobre el blindaje de cada molino se puede decir lo siguiente:

1. Molinos de trituración previa y de refinado.

Los molinos de trituración previa tienen, corrientemente, un blindaje de placas de fundición acerada, con una vida de $1\frac{1}{2}$ a 2 años (en molienda de cemento). Los molinos tubulares tuvieron, inicialmente, un revestimiento, en parte de basalto fundido, en parte de ladrillos de sílex; actualmente están revestidos con estos últimos. La duración de este revestimiento es de medio año (en molienda de cemento).

2. Los MTA I y II están revestidos con placas austeníticas de fundición acerada, endurecidas con manganeso (12-13%); en el primer espacio se emplean placas escalonadas y en el segundo abombadas. En el tiempo en que por primera vez se equiparon estos molinos, se realizaron, especialmente en Suiza, numerosos ensayos con otras calidades de placas; se trataba de evitar los conocidos inconvenientes de las placas con aleación de manganeso, como son la dilatación y las subsiguientes grietas, etc. De acuerdo con esta finalidad se colocaron en el MTA I placas de ensayo de distintas fábricas austriacas de acero. Se observó que, ya durante la primera semana de funcionamiento del primer molino, se producía una fuerte dilatación en las placas de aleación de manganeso, y, como consecuencia, numerosas grietas. Por esta razón,

se retiraron los elementos de trituración con diámetro superior a 80-100 mm.

Para un tiempo de explotación de dos años, las medidas encontradas fueron satisfactorias. Se comprobó así, mediante placas de prueba, la calidad de las placas Böhler, que, en general, son más baratas que las de fundición acerada, aleada con manganeso, con una extraordinaria resistencia al desgaste.

3. El MTA III fué equipado con las placas de este material Böhler ("Böhler Stern Stg. CMN 100"), de fundición de acero aleada con cromo, tratada térmicamente. Se aplica con el mismo formato y distribución que en los MTA I y II. Además, estas placas poseen, en el primer espacio, sobre la superficie de molienda, unas estrias en forma de cruz, a fin de poder compensar una posible dilatación de la superficie. El desgaste de este material es, durante un período de explotación de 18 meses, imperceptible (molienda del cemento); asciendo, quizás, a 3-4 mm. Hasta ahora no han aparecido grietas por dilatación en dichas placas. El blindaje frontal y las rejillas intermedias se han fabricado con acero aleado con manganeso y han acreditado su excelente calidad.

GRADO DE LLENADO DE ELEMENTOS DE TRITURACION

La tabla I da una idea general sobre el grado de llenado de elementos de trituración. Se observa la necesidad de un grado de llenado mayor (%) del segundo espacio del MTA I frente al III; este último presenta la tendencia, corriente en los molinos compound, a un escalonamiento de los elementos de trituración. En

T A B L A I

Grado de llenado de elementos de trituración

		Molino de tratamiento previo y acabado	Molino con separación por aire	Molino con elevador de cangilones
Tipo de molino Clase de cemento		Z 225	MTA I Z 225	MTA III Z 225
1 ^{er} espacio	t	*	10 85 % 80 Ø 15 % 60 Ø	13 85 % 80 Ø 15 % 60 Ø
Grado de llenado (en volumen)	%	*	20	25
2 ^o espacio	t	*	19 aproximadamente 30% : 50 Ø y 40 Ø; cubos 30	20
Grado de llenado (en volumen)	%	*	24	22
Llenado total	t	15,5	29	33
Rendimiento (por hora)	t. cemento / t. elementos de trituración	0,32	0,42	0,8
Desgaste de los elementos de trituración	Kg./t. cemento.	0,3	?	0,1

(*) En los molinos de trituración previa y acabado, los elementos de trituración son bolas de 100 Ø a 30 Ø, en ambos molinos, distribuidos en cuatro cámaras, con un grado de llenado, en volumen, de 20-25%.

la tabla se hallan también los rendimientos específicos por tonelada de cuerpo molido y los valores del desgaste. Se observa el buen rendimiento del MTA III y su menor desgaste. En el MTA I no puede indicarse el desgaste en la molienda del cemento, pues, predominantemente, se molieron primeras materias. Sería, sin embargo, semejante al del MTA III.

GARANTIAS

A continuación consideraremos, de forma breve, las garantías dadas por los proveedores:

1. Molinos de trituración previa y de refinado.

No existe ya indicación alguna de garantía de la firma suministradora.

2. Instalaciones de secado y molienda MTA I y II.

Molienda de materias primas: Capacidad productora de 22 t/h., con una finura que deja un 10% de residuo en un tamiz 0,09. Humedad inicial de 8%; humedad final de 0,5%. Consumo de calor de 90.000 cal/t. de materia prima, correspondiendo aproximadamente a 1.150 Kcal/Kg. de agua. Consumo de corriente, 23,2 Kwh/t., sin tener en cuenta la eliminación de polvo y la calefacción.

Molienda de cemento: Capacidad productora de 12 t/h., con una finura que deja 5% de residuo en un tamiz 0,09. Consumo específico de energía de 42,5 kwh/t.

3. Instalación de secado y molienda MTA III.

Molienda de cemento: Capacidad productora de 21 t/h., para una superficie específica (según Blaine) de 2.500 cm²/gr. Con-

sumo específico de energía de 28 kWh/t., sin tener en cuenta la separación de polvo.

RESULTADOS DE LA MOLIENDA

A título de comparación se consideran a continuación los gastos realizados en cada una de las instalaciones para la obtención de cementos semejantes:

Se alcanzaron, en todo momento, los valores de garantía de cada instalación, como puede observarse en la tabla siguiente.

La tabla II ("Calidad del cemento y consumo de energía") contiene todos los valores que interesan para establecer la comparación de los cementos elegidos. De ella se deduce, especialmente, la finura exigida para la producción de resistencias equivalentes y de calidades, aproximadamente, iguales, de los cementos. El MTA III ocupa una posición intermedia entre los molinos de trituración previa y los de refinado y el MTA I. Es apreciable que, -como es de sobra conocido- la superficie específica, según Blaine, no permite establecer ninguna conclusión absoluta sobre las resistencias obtenidas a partir de los cementos producidos en los distintos molinos. La tabla III y las curvas de composición granulométrica (Fig. 11), que indican, significativamente, la posición intermedia del MTA III entre los otros dos tipos de molinos, aclaran este hecho. El dominio de las curvas por debajo de 15μ es seguramente algo problemático, pero se ha examinado la tendencia de estas ramas de curvas por un recuento de las fracciones granulométricas, mediante fotografías microscópicas, y como tales seguramente exactas. Se observa también que el molino de tri-

T A B L A II
Calidad de cemento y consumo de energía

	Molino de trituración previa y acabado	Molino con separa - ción por aire	Molino con elevador de cangilones (cir- cuito cerrado)	Molino con elevador de cangilones (cir- cuito cerrado)
Tipo de molino		MTA I	MTA III	MTA III
Clase de cemento	Z 225	Z 225	Z 225	Z 225
Resistencia	1395	1412	1413	1934
Resistencia a la com- presión/resistencia a la tracción con fle- xión (Kg./cm ²)				
1 días	12/53	8/42	11/47	24/114
2 "	21/100	19/100	20/100	37/170
3 "	30/136	29/139	26/129	44/214
7 "	43/201	45/205	45/214	62/303
28 "	65/368	68/368	70/365	81/482
Tiempo de fraguado(h)				
Principio	3½	4 3/4	4	3½
Final	6	8½	6½	5½
Residuo (tamiz 0,09) (%)	13,2	3,1	5,1	0,8
Superficie específica, según Blaine (cm ² /g)	2810	2650	2950	4555
Rendimiento del molli- no (t/h)	5	12	19,7	11,7
Consumo total de la instalación de mo- lienda (kw)	214	575 *	538 *	562
Consumo específico de energía (kwh/t)	42,5	48	27,4	48

* Molino 400 kw. Ventilador 130 kw. Motor auxiliar 45 kw.
** Molino 450 kw. Separador 45 kw. Motor auxiliar 43 kw.

T A B L A III

Composición granulométrica (análisis por tamizado, en % de residuo)

Tamiz r ^o (DIN)	Mallas/cm ²	Molino de tritura - ción previa y acaba do.		Molino con separación por aire		Molino con elevador de cangilones (cir - cuito cerrado)		Molino con elevador de cangilones (cir - cuito cerrado)	
		Z 225	MTA I Z 225	MTA III Z 225	MTA III Z 225	a	b	a	b
		13,2 residuo/0,09		3,1 residuo/0,09		5,1 residuo/0,09		0,8 residuo/0,09	
		a	b	a	b	a	b	a	b
0,5	144	0,1		--		--		--	
0,2	900	0,4	0,5	0,4		0,2		0,04	
0,12	2500	4,4	4,9	1,1	1,5	1,6	1,8	0,18	
0,09	4900	8,3	13,2	1,6	3,1	3,3	5,1	0,6	0,8
0,075	6400	3,0	16,2	2,7	5,8	3,5	8,6	0,9	1,7
0,06	10000	6,8	23,0	6,2	12,0	7,2	15,8	2,3	4,0
0,04	16900	19,0	42,0	20,0	32,0	20,2	36,0	9,0	13,0
	Fino 16900	54,8		65,3		60,5		82,5	
	Suma	96,8		97,3		96,5		95,5	
	Pérdidas (polvo)	3,2		2,7		3,5		4,5	

a = fracción de residuo (%)

b = suma de residuo (%)

turación previa y el de refinado, con circuito abierto, producen una composición granulométrica, bien mezclada, con mucho fino, aunque eventualmente puede obtenerse material sobremolido y mucho grueso, quizás con mal aprovechamiento, mientras que el MTA I presenta el otro extremo, con tendencia a una composición de grano regular; en general, cuanto mayor sea, más potente ha de ser la ventilación. Los cementos molidos en el MTA I presentan mayor tiempo de fraguado y un crecimiento más lento de las resistencias.

El consumo, relativamente alto de energía de los molinos de trituración previa y de refinado, es debido, en parte, a su anticuado tipo de construcción. En el MTA I, por el contrario, el consumo específico de energía procede, en primer lugar, de la distribución neumática. La corriente de ventilación tiene que transportar el material y, además, vencer una considerable resistencia en el separador y en el ciclón.

El MTA III presenta un consumo de energía extraordinariamente favorable; se comprende, pues, que en los casos considerados, es preferible el MTA III a los otros tipos de molinos.

En todas las indicaciones sobre consumo específico de energía se hallan contenidos; el consumo de todos los accesorios de los molinos, desde la distribución en los molinos hasta la organización del transporte; totalidad de los aparatos de distribución; bombas de aceite; eliminación de polvo; transportador de hélice, y ventilador. Se ha de mencionar que las cifras de consumo total de energía representan los valores medios en barra, a 6 kv, donde también se obtiene la medida del consumo total de corriente de la fábrica. Se hallan contenidos también, en los valores de

consumos de energía, las pérdidas en línea y en motor. Se comparan, asimismo, las curvas de consumo de energía de las diferentes instalaciones modernas de molienda, según el Bureau Técnico Holderbank, y los valores encontrados en Gmunden. (fig. 12)

CARACTERÍSTICAS DE LOS TRES SISTEMAS DE MOLIENDA

Resumiendo, podemos ofrecer, a continuación, las siguientes características:

1. En los molinos de trituración previa y de refinado, en los casos considerados, sobre todo a causa del tipo anticuado de construcción, no son satisfactorios ni el funcionamiento ni el consumo de energía; el manejo es relativamente sencillo.

Presentan, en circuito abierto, tendencia a la sobremolienda del cemento; además, tienen un consumo innecesario de energía. La preparación de finos de cementos de alta calidad en estos molinos presenta la máxima dificultad a causa de la ventilación defectuosa; al robarse una determinada finura (aproximadamente, la que deja un 8% de residuo en un tamiz 0,09), aparece el peligro de la formación de plaquetas y de que los elementos de trituración se recubran. Estos elementos de trituración, recubiertos de material molido, no se limpian ellos solos, sino que es preciso cambiarlos. En general, en la molienda en circuito abierto, según la finura que se desee obtener, sería conveniente emplear un determinado grado de llenado de elementos de trituración, lo cual es prácticamente imposible; en los grandes molinos se realiza raras veces. Por esto es por lo que se ha elegido una cantidad de compromiso, en la mayoría de los casos, con la que, sin embargo, se

muele muchas veces de forma irracional, especialmente cuando se realiza, de forma alternativa, la molienda de diferentes clases de cemento.

En la molienda en circuito abierto la sensibilidad a las temperaturas superiores del clínker, debido a que la ventilación y el enfriamiento son defectuosos, constituye un inconveniente. En los modernos molinos compound no aparece, con toda seguridad, en esta medida. En los molinos descritos debe interrumpirse la molienda. El desgaste de los elementos de trituración y de los revestimientos es considerable.

2. El molino MTA I, con separador de corriente, tiene elevado consumo de energía, especialmente a causa del transporte neumático. El desgaste de aquellas partes de la instalación en las que existe alta velocidad del aire (tubo acodado de la salida del molino, separador y rueda del ventilador), es muy grande en la molienda del cemento; un blindaje de 10 mm. en el tubo acodado, después de 14 días a 3 semanas, aproximadamente, estaba horadado. Este desgaste no se presenta en la molienda de materias primas, como puede observarse perfectamente en el MTA II. En él no se ha molido cemento y no se ha presentado un desgaste apreciable. El desgaste de los elementos de trituración y del revestimiento en MTA I es relativamente pequeño.

Una particularidad del MTA I es la tendencia de los molinos con separador de corriente a producir un material con una composición granulométrica bastante regular, lo que para el cemento es inoportuno; pero en cambio, parece que es favorable para la materia prima. A causa de la resistencia que ha de presentar el cemento, la molienda ha de ser muy grande; es natural que, por consiguiente, resulte un consumo creciente de energía.

El MTA I es insensible, a causa de su potente ventilación, a las temperaturas mayores del clinker, de forma que es posible la molienda; sin embargo, el rendimiento de la molienda disminuye con una temperatura creciente del clinker. El MTA I no presenta ninguna tendencia a la formación de plaquetas ni al recubrimiento de los elementos de trituración. La preparación de finos puede llevarse, según se desee, hasta un cierto límite. Una determinada selección de los elementos de trituración es prácticamente apropiada para todas las finuras corrientes.

El manejo del molino con ventilación cíclica debe realizarse muy cuidadosamente. El factor decisivo es, ante todo, el rendimiento del ventilador. Determina el grado de llenado de material del molino. A diferencia de la molienda en circuito abierto, este sistema de molino muele mejor si el molino está más lleno. Se ha de procurar, por consiguiente, mantener lleno el molino. Por lo tanto, el consumo de energía del ventilador es menor, pues a consecuencia de la mayor resistencia a la corriente, la cantidad de aire impulsada es relativamente pequeña. Claro está que aparece el peligro de llenar el molino, con exceso, de forma que aparece, fácilmente, la tendencia a un menor impacto, con lo que existe el peligro de disipación de energía.

La finura del producto molido se ha de procurar mantener suficientemente constante, mediante una cuidadosa vigilancia; puede ocurrir que algunos granos se escapen a la molienda, lo cual no se puede impedir.

3. El molino, con circuito cerrado, con elevador de canchales (MTA III) presenta el más bajo consumo de energía.

El desgaste de todo el sistema es, especialmente en el separador centrífugo, extraordinariamente pequeño, hasta ahora, únicamente en los tubos de entrada de aire para la separación de polvo, que quizás son algo estrechos, se han presentado fenómenos de desgaste dignos de mención.

Este molino produce un cemento con carácter semejante al del molino compound, es decir, con una composición granulométrica que se encuentra entre la de un molino compound y la de un molino con separador de aire, con cierto contenido favorable en partes finas y gruesas, sin sobremolienda, y, ciertamente, sin que se presenten porciones gruesas no aprovechables. También en este sistema de molino es suficiente una cantidad determinada de elementos de trituración para una amplia variación de finura.

El molino no presenta ninguna tendencia a la formación de plaquetas o al recubrimiento de los elementos de trituración. La finura puede regularse fácilmente en un amplio límite, bien por la variación del número de paletas en el separador centrífugo (como regulación de gruesos) o por graduación del regulador en el separador (como regulación de finos). Una vez fijada la pauta, la finura apenas oscila de forma apreciable. Así, por ejemplo, en el Z 225 con una finura media que deja un residuo de 5% en un tamiz 0,09, la variación es aproximadamente de $\pm 0,5\%$; en Z 325, con una finura media que deja un residuo de 0,8% en un tamiz de 0,09, la variación es, aproximadamente, de $\pm 0,1\%$. Las calidades de cemento, a partir de un clinker regular, permanecen muy equivalentes.

El manejo del molino es relativamente sencillo, aunque los accesorios se han de vigilar más que en un molino compound. Para la regulación normal del trabajo, para una finura elegida y una determinada clase de cemento, es suficiente el control de la

entrada de corriente del elevador de cangilones.

La cantidad de partículas, del tamaño de arena, que vuelven desde el separador de este molino, en la molienda normal de Z 225, asciende, aproximadamente, a 40-50 t/h., y en la preparación de finos de Z 325, aproximadamente, a 90-100 t/h.

La tabla IV da una aclaración sobre la composición de los granos del tamaño de arena y la recuperación del polvo eliminado.

El manejo es sencillo, por lo que en este sistema de molino es constante la composición granulométrica y la finura deseada, a diferencia de un molino compound donde no existe esta posibilidad, pues la regulación sólo es posible por una variación de los elementos de trituración, realizable de una forma normal; las oscilaciones cualitativas y naturales y de temperatura del clinker influyen desventajosamente sobre el rendimiento de la molienda y sobre la calidad del cemento. Como en MTA I, en MTA III el rendimiento cuantitativo de la molienda disminuye al crecer la temperatura del clinker; la calidad no cambia y la molienda es posible, pues la ventilación de este sistema de molino es muy potente.

Frente al MTA I, se obtiene en MTA III una finura constante; no es posible que escapen partículas gruesas a la molienda.

El desgaste de los elementos de trituración y del blindaje es extraordinariamente pequeño.

La necesidad de espacio del molino, con circuito cerrado, con elevador de cangilones, se ciñe a la altura; requiere menos espacio de base que el molino compound.

La adquisición de un molino, con circuito cerrado, con elevador

T A B L A IV
Molienda de cemento en el molino con elevador de cangilones (circuito cerrado) MTA III
(Finuras determinadas en el tamiz DIN 0'09)

	producto grueso	recuperación de polvo
	Residuo % /0'09	Residuo % +0'09
Z 225	56	18
Z 325	24	8

El contenido en SO_2 de estas fracciones varía de 1'2 a 2 %, en el caso de 2'8 % SO_2 en el producto acabado.

vador de cangilones, será, inicialmente, más barata que la de un molino compound de igual rendimiento, pues la camisa del molino es relativamente corta y, por consiguiente, en la producción es más sencilla y estable; además, el blindaje y la cantidad de elementos de trituración, que representan una parte importante del coste, son de menor extensión. Los accesorios corrientes, como el elevador de cangilones, separador, etc., son relativamente baratos, predominando la construcción a base de chapa. El motor del molino es extraordinariamente pequeño.

Una gran ventaja del MTA III es su inmediata posibilidad de aplicación como instalación de secado y molienda, para la molienda de materias primas, sobre la cual, por desgracia, solamente de forma breve se puede informar. Por esta razón, se puede añadir inmediatamente al clínker yeso muy húmedo, etc.

Mezclas perjudiciales de materiales no se han presentado ni en el MTA I ni en el MTA III.

Se observa, también, que el molino, con circuito cerrado, con elevador de cangilones, con separador centrífugo accionado mecánicamente, resulta extraordinariamente apropiado para la molienda del cemento.

TRITURACION DE LAS MATERIAS PRIMAS

Consideremos la molienda de materias primas en las ins

talaciones MPA I y II. Un ensayo de garantía condujo a los siguientes resultados:

El consumo específico de energía ascendió a 23,7 Kwht de polvo de materia prima, en la proporción establecida en la garantía de los accesorios de la instalación para una finura que deja un 11,1% de residuo en un tamiz de 0,09, con una humedad media final de 0,1% de agua, a partir de una materia prima con 1,9% de agua. El consumo de energía ascendió a 49.000 kcal/t de materia prima, de forma que para la molienda de la materia prima puede considerarse que se han alcanzado los valores de la garantía. Este ensayo de garantía se tomó, en una evaluación posterior, de cuatro que se eligieron, realizados de forma sucesiva, sin que indique una preparación previa de la instalación.

En la explotación diaria de los molinos con separador de corriente de aire, MPA I y II -como se ha mencionado-, una deficiencia en el manejo puede ser causa de un consumo notable de energía, pues el operario trabaja mejor con una carga media constante, para evitar, de forma segura, el llenar el molino de forma excesiva, lo cual puede producirse a consecuencia de fluctuaciones en el suministro de materia prima. Se debe, por cierto, mencionar, que en Gmunden, a causa de las circunstancias, la trituración de la materia prima es relativamente mala, de manera - que el tamaño de los granos que abandonan el molino, en algunos casos, puede ascender hasta 50 mm, con fragmentos aislados todavía mayores. Por mejoramiento del elevador se consigue una amplia disminución del consumo de energía. La consideración existente de la finura de la molienda, comparada con el rendimiento del horno, indica que una molienda para preparación de finos, - con un residuo de 10 a 12% en un tamiz de 0,09, representa el

máximo necesario para un buen funcionamiento del horno. Una molienda de la materia prima, con obtención de una finura mayor, no produce ningún crecimiento del rendimiento del horno y, solamente, representa desperdicio de energía. Aquí influye favorablemente, en cualquier caso, la tendencia de la separación por aire a la obtención de un producto con un grano considerablemente regular.

De cuanto hemos dicho se deduce que el molino con separador de aire es adecuado para la molienda de las materias primas (también se podrá aplicar a la molienda del carbón); para la molienda de cemento, sin embargo, es menos apropiado que el molino, con circuito cerrado, con elevador de cangilones.

Las figuras 7,8,9, y 10 muestran una instalación suiza de molienda con molino, con circuito cerrado, con elevador de cangilones, semejante al MPA III.

RESUMEN

A partir de resultados puramente prácticos, el autor discute las experiencias realizadas sobre el funcionamiento de diferentes tipos de molinos y los gastos necesarios para moler, en los mismos, cementos de calidad semejante. Compara los molinos de trituración previa y los de refinado de modelo antiguo con los molinos separadores modernos que trabajan tanto con corriente de aire como con separador centrífugo, en circuito cerrado. Describe los diferentes sistemas de molinos y su funcionamiento.

Esta comparación indica una superioridad del sistema de molienda que trabaja en circuito cerrado, con molino corto, de bolas, y separador centrífugo.

BIBLIOGRAFIA

Kraus, F. Verbesserte Mühlenpanzerung. Zement-Kalk-Gips, 5 (1952)
320.

Surmann, W. Wirtschaftliche Feinmahlung in der Zement-industrie.
Zement-Kalk-Gips. 5(1952), 214.

Börner, H. Siehtmühle oder Verbundmühle?. Zement-Kalk-Gips. 5
(1952), 242.

S.F.S.

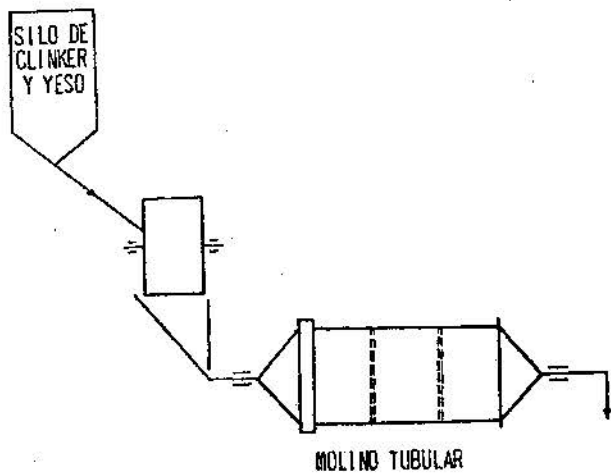


Fig. 1.

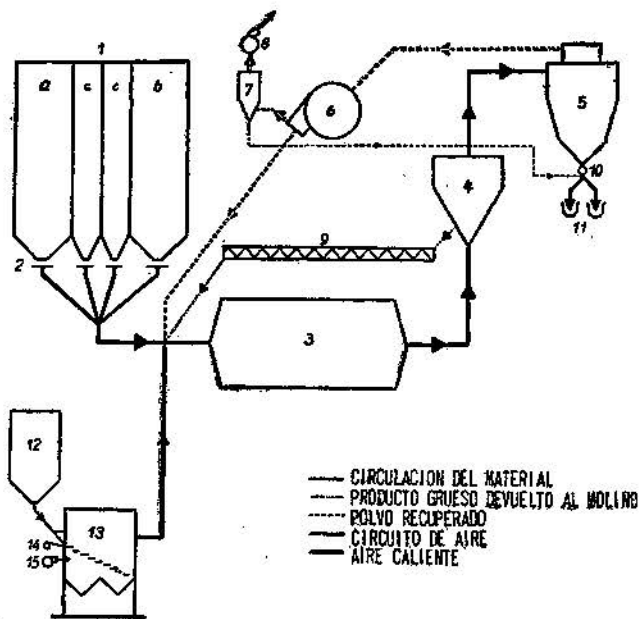


Fig. 2.

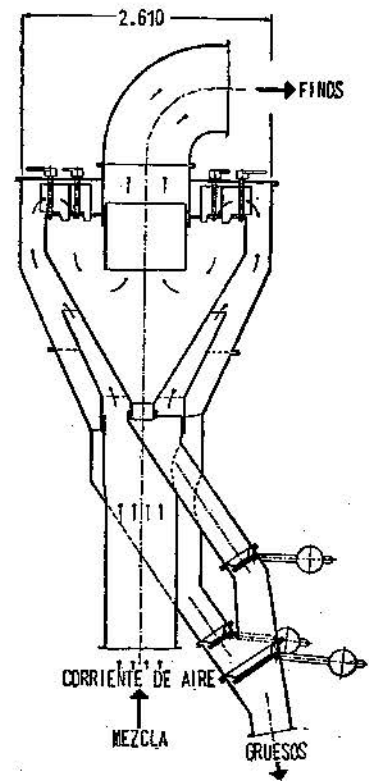


Fig. 3.

Fig. 1.—Esquema de los molinos de trituración previa y acabado.

Fig. 2.—Esquema de los molinos separadores, con separación por aire.

1, silo: a) cal, b) marga, c) adiciones; 2, aparatos de alimentación; 3, molino; 4, separador de aire; 5, ciclón; 6, aspirador; 7, separación del polvo; 8, aspirador para la separación del polvo; 9, transporte al molino del producto grueso; 10, compuertas; 11, transportadores de hélice para el producto acabado; 12, silo de lignito; 13, hogar; 14, puesta en marcha de la parrilla; 15, ventilador para el aire de combustión.

Fig. 3.—Esquema del separador por aire.

INSTALACION SUIZA DE MOLIENDA DE CEMENTO: MOLINO CON ELEVADOR DE CANGILONES, EN CIRCUITO CERRADO

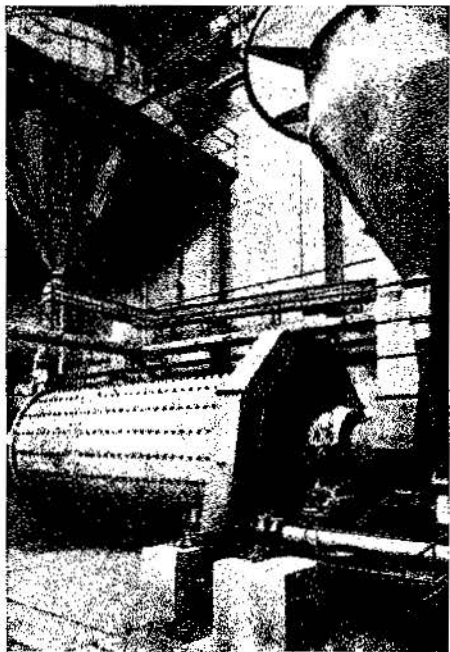


Fig. 7.—Vista del separador centrifugo y de la canaleta para el transporte del cemento, al fondo.

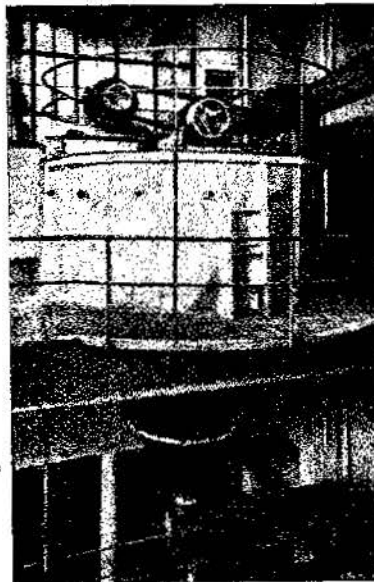


Fig. 9.—Vista del separador centrifugo, con entrada de la mezcla de material y salida del producto acabado (se ha retirado la protección de las transmisiones).

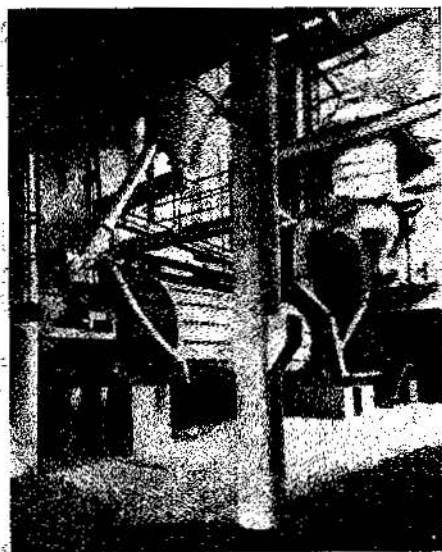


Fig. 8.—Vista del separador de polvo.

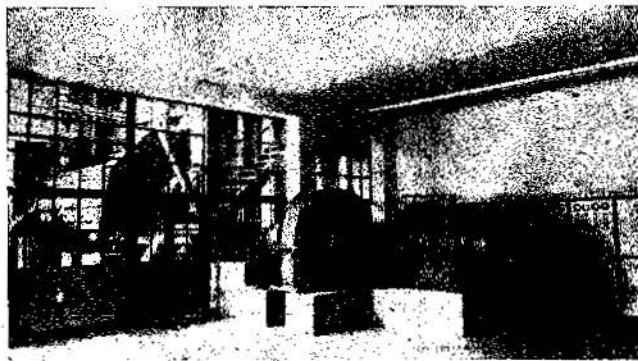


Fig. 10.—Sala de máquinas.