

666.94:621.926=60

616 - 82

¿por qué deben conservarse bajas las temperaturas de la molienda?

keep grinding temperatures low

K. TAKEMOTO, I. ITO y K. HIRAYAMA

(«Rock Products», pág. 140, octubre de 1959.)

Operando con un molino de bolas para moler clinker de cemento Portland a temperaturas inferiores a 105° C, se mejora la molturabilidad y la calidad del cemento obtenido. Moliendo por encima de esta temperatura, el yeso añadido al clinker pierde su efecto colaborador en la molienda; aquél se convierte en hemihidrato y la distribución del tamaño de las partículas del cemento resulta de inferior calidad. La molturabilidad de la mezcla decae notablemente y el cemento acabado presenta falso fraguado y menor resistencia.

Aunque es bien conocido que una elevada temperatura de molienda reduce la molturabilidad del cemento, este tema no se ha estudiado con mucha claridad. Sabemos que el yeso se deshidrata a temperatura elevada, produciendo el falso fraguado del cemento; pero no hay relaciones sobre las otras propiedades del cemento molido a elevada temperatura.

He aquí los resultados específicos de nuestros estudios relativos al efecto de la temperatura sobre la molturabilidad y calidades del cemento.

— El yeso exhibe un notable efecto como colaborador de molienda. Por debajo de 105° C, parece ser que reducen el recubrimiento de cemento sobre los elementos de molienda, la formación de grumos y el tiempo total de molienda.

— En el proceso de molienda con yeso, a temperatura inferior a 105° C, el valor de n calculado por la ecuación de la fórmula de Rosin-Rammler $\log R(x) = -kx^n$ es constante. El cemento acabado contiene muchas más partículas de tamaño medio, entre 15 y 40 μ . Tiene menos tendencia al falso fraguado por aireación y la resistencia de su mortero es mayor que la del cemento molido a temperaturas por encima de los 105° C.

A la temperatura de 105° C, el yeso añadido al clinker se deshidrata y pasa a hemihidrato durante el proceso de molienda. Por esta razón el recubrimiento de cemento sobre los elementos de molienda aumenta gradualmente durante el proceso para superficies específicas superiores a 3.000 centímetros cuadrados/gramo Blaine, y la molturabilidad disminuye ligeramente.

— A 130 ó 150° C, el yeso se deshidrata rápidamente, y pasa a yeso hemihidrato y gradualmente a anhídrita soluble en el proceso de la molienda. El recubrimiento de cemento sobre elementos molturadores aumenta, la molienda se hace dificultosa y el valor de n disminuye.

— Cuando se añade hemihidrato en vez de la piedra de yeso, es necesario un mayor tiempo de molienda y el valor de n disminuye en el curso de la misma a cualquier temperatura comprendida entre 20 y 150° C. Cuanto más alta es la temperatura de molienda, más se disminuye el valor de n , y el hemihidrato añadido al clinker pasa a anhídrita soluble para temperaturas de molienda superiores a 130° C. El cemento acabado tiene una gran tendencia al falso fraguado por aireación y una resistencia mucho menor, comparada con la del cemento molido a temperaturas inferiores a 105° C con piedra de yeso.

— El clinker solo, es más difícil de moler y necesita más tiempo de molienda que el clinker con yeso dihidrato o hemihidrato; pero la aparición de recubrimientos en los elementos de molienda y de grumos y un valor de n reducido, son fenómenos que se repiten como en la molienda de clinker con yeso hemihidrato. Parece ser que el hemihidrato tiene escaso efecto colaborador de molienda, y el dihidrato pierde su efecto por deshidratación si se muele a temperaturas superiores a los 105° C.

— El cemento que posee una distribución granulométrica mala, especialmente bajo valor de n , y tiene una tendencia mayor al falso fraguado por aireación, aunque esté molido a 20° C con dihidrato. También muestra menor resistencia.

En este trabajo se molturó el clínker con yeso dihidratado, hemihidrato o sin yeso, a temperaturas que oscilaron entre 20 y 150° C. A la vez se observó el tiempo de molienda, la formación de grumos en el cemento, el recubrimiento de los elementos molturadores y la composición granulométrica del cemento. Por medio del análisis térmico diferencial se examinó la extensión de la deshidratación del yeso en el cemento. También se ensayaron las propiedades físicas del cemento acabado: tiempo de fraguado, falso fraguado por aireación y resistencia del mortero.

En los ensayos se emplearon dos tipos de clínker machacado que pasaban, respectivamente, a través de los tamices de 2,5 y 5 mm de luz de malla. Al clínker se añadió, o yeso natural de México, molido hasta pasar por un tamiz de 0,21 mm de luz de malla, o yeso hemihidrato (producido por calentamiento del yeso dihidrato molido, a 110° C) para conseguir en el cemento resultante un 1,3 % de SO_3 . Para todos los ensayos se utilizó un molino de 50 × 30 cm, girando a 57 r.p.m. En dicho molino, previamente cargado con los elementos molturadores y precalentado a una temperatura dada con un calentador eléctrico, se colocaron 8 kg de clínker preparados a unos 75° C y el yeso correspondiente. Durante la molienda se midió la temperatura a intervalos de tiempo por medio de un termómetro de alcohol, introduciéndolo a unos 10 cm dentro del material y, por último, se reguló a una temperatura definida con el calentador eléctrico con un error de $\pm 5^\circ C$.

A intervalos de 5 ó 10 minutos se tomaron pequeñas cantidades del cemento molido, juntamente con los elementos molturadores; se colocaron en un tamiz de 5 mm de luz de malla, sacudiéndolo violentamente hasta hacer pasar la mayor cantidad posible de cemento. Cincuenta gramos de cemento sacado del molino se pasaron por un tamiz de 0,3 mm y se midió el residuo de grumos y escamas.

Los grumos fueron definidos como el residuo que debe pasar a través de un tamiz por presión con el dedo. El residuo final sobre dicho tamiz, después de esta operación, se consideró como "escamas". Los ensayos de medida de la superficie específica Blaine del cemento y la extensión de la deshidratación del yeso en el mismo, medida por medio del análisis térmico diferencial, se verificaron sobre 15 g de este cemento molido y tamizado.

La capa de cemento que recubre los elementos molturadores, se valoró pesando el cemento que está fuertemente adherido a una bola de cada tamaño y 5 cyleps. La capa que recubre a los elementos molturadores y que está ligeramente adherida, se elimina fácilmente golpeándola tres veces y frotando ligeramente el elemento con un paño.

Después de pesar la pequeña cantidad necesaria para este ensayo, el cemento sobrante y los elementos molturadores se devolvieron al molino en cada intervalo de molienda.

Se continúa la molienda hasta que el cemento alcance una superficie específica Blaine de 3.350 g, y el cemento acabado se tamiza hasta excluir los grumos. No debe existir cascarilla en un cemento acabado.

La molturabilidad del cemento es aproximadamente la misma a temperaturas de 20° C y 85° C, bien se añada yeso o hemihidrato. Pero a 105° C, los grumos y la capa de cemento que recubre los elementos molturadores aumentan ligeramente cuando la molienda alcanza los 3.000 cm^2/g Blaine y la molturabilidad empieza entonces a descender.

A temperaturas de 130 a 150° C, se aumenta notablemente la formación de grumos y la capa de cemento que recubre los elementos molturadores. La molturabilidad del clínker, con o sin yeso, también disminuye notablemente.

A temperaturas por debajo de 105° C, el cemento con yeso presenta una menor formación de grumos, una capa de cemento sobre los elementos de molienda y un tiempo de molienda más bajo que el cemento molido con hemihidrato o sin yeso. A 105° C, el yeso se deshidrata gradualmente pasando a hemihidrato en el transcurso de la molienda y, eventualmente, pierde su efecto como colaborador de molienda, y la molturabilidad se reduce ligeramente. A temperaturas por encima de los 105° C, la molturabilidad del cemento con yeso es aproximadamente la misma que la del cemento con hemihidrato, porque el yeso se deshidrata rápidamente y pasa a hemihidrato en el proceso.

El clínker sin yeso fué el más difícil de moler. Parece claro que el yeso, especialmente el dihidrato natural, tiene un efecto colaborador en la molienda del clínker de cemento.

Debido a la tendencia a aumentar los grumos y crear la capa de cemento que recubre los elementos molturadores, el clinker sin yeso se comporta aproximadamente lo mismo que el cemento con adición de hemihidrato.

La molturabilidad del clinker sin yeso es casi la misma que la del clinker con adición de hemihidrato; el hemihidrato rara vez tiene efecto colaborador de molienda.

El clinker que pasa por un tamiz de 5 mm de luz de malla necesita poco más tiempo de molienda, comparado con el que ha de pasar por el tamiz de 2,5 milímetros.

El cemento molido con cylpebs muestra una formación de grumos y un recubrimiento de elementos menores, así como también un tiempo de molienda más pequeño para cada temperatura de ensayo. Por el contrario, el cemento molido con bolas, sin cylpebs, presenta mayor capa recubridora, mayor número de grumos y un período de molienda mayor.

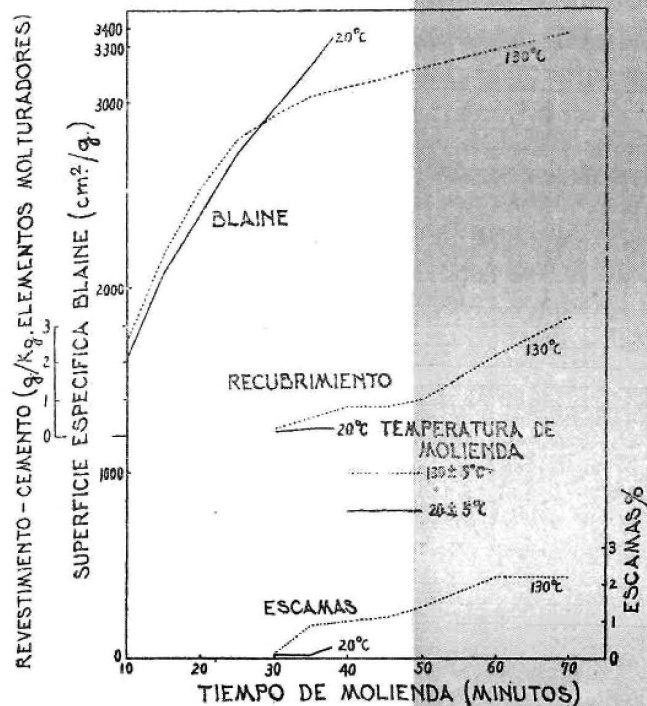


Fig. 1

La composición granulométrica del cemento viene dada por la ecuación de la fórmula de Rosin-Rammler $\log R(x) = -kx^n$, en la cual $R(x)$ es el residuo de arrastre por aire en el límite de diámetro de partícula de $x\mu$.

En general, cuanto más alta es la temperatura de molienda, más disminuye el valor de n y más aumenta el de k . A temperaturas de molienda comprendidas entre 20° C y 105° C, no había diferencias notables en la composición granulométrica ni en la molturabilidad. El valor de n en el cemento entre 130 y 150° C es mucho menor; el de k es mucho mayor. El cemento contiene más partículas mayores de 40 μ y menores de 15 μ , comparado con el cemento molido a temperaturas entre 20 y 105° C.

En el caso del cemento con adición de yeso dihidrato, a temperaturas comprendidas entre 20 y 105° C, el valor de n es aproximadamente constante durante todo el proceso de molienda. A temperaturas más altas, 130 ó 150° C, el valor de n disminuye gradualmente durante el proceso. En el caso del cemento con adición de hemihidrato, aun para temperaturas de 20° C, el valor n disminuyó en el transcurso del ensayo.

El descenso del valor de n en el caso del clinker sin yeso, es el mismo que en el del cemento con hemihidrato.

Como conclusión de estos ensayos, se deduce que el yeso dihidrato tiene un efecto notable como colaborador en la molturación. No solamente rebaja el tiempo total de molienda, sino que también proporciona más partículas de tamaños medios (entre 15 y 40 μ) en el cemento.

Los cylpebs, como elementos molturadores, dieron mejor composición granulométrica al cemento que las bolas. Aún a 130° C, la composición granulométrica del cemento molido hasta 2.900 cm²/g Blaine es la misma que cuando se molió a 20° C.

Cuando el grado de finura es superior a 2.900 cm²/g Blaine, la capa de cemento que recubre los elementos aumenta y el valor de n disminuye (fig. 1).

El yeso dihidrato tiene un notable efecto como colaborador de molienda a temperatura inferior a 105° C, pero este efecto desaparece a temperaturas superiores. A elevadas temperaturas de molienda, disminuye la molturabilidad del cemento como consecuencia de la disminución de la molturabilidad del clinker por deshidratación del yeso dihidrato y pasa a hemihidrato o anhídrita soluble.

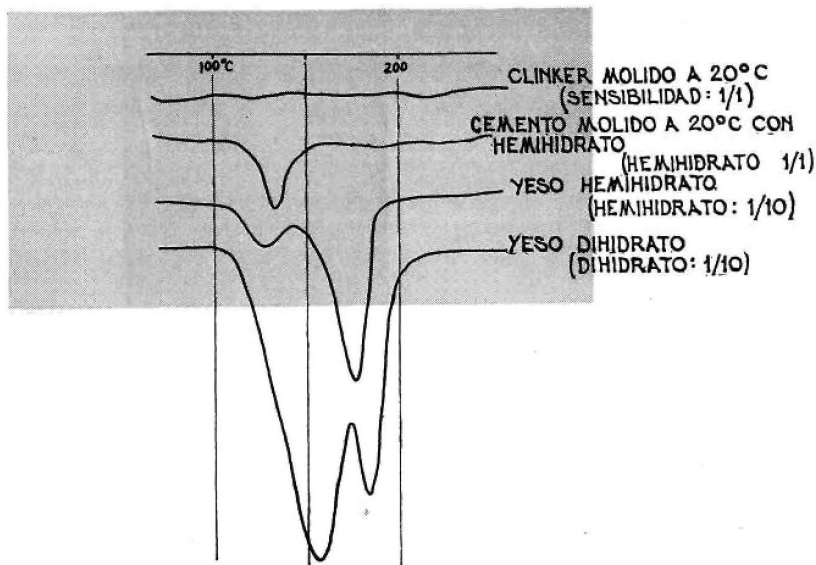


Fig. 2

La deshidratación del yeso en el cemento en el proceso de molienda ha sido examinada por medio del análisis térmico diferencial (figs. 2 a 4). Las curvas del análisis térmico diferencial del cemento con yeso en el molino a varias temperaturas, se muestran en la figura 3. En la curva del análisis térmico diferencial, la temperatura de deshidratación del hemihidrato en el cemento aparece casi idéntica con la que corresponde a la de piedra de yeso en el cemento.

Para aclarar este fenómeno, en la figura 4 se presentan los resultados del análisis térmico diferencial del dihidrato o hemihidrato, mezclados con clinker molido, cuarzo o $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. A menor cantidad de yeso los máximos, en las curvas de temperatura, de la deshidratación primaria y secundaria del yeso disminuyeron, pero no cambiaron las temperaturas en que comienza la deshidratación. Parece que el vapor de agua procedente de la deshidratación del yeso mezclado con estos materiales rebaja las temperaturas máximas.

La deshidratación del yeso en un cemento molido, tratado a 85°C durante 40 minutos, está entre el dihidrato y el hemihidrato. La deshidratación del yeso en cemento molido, ensayado a 105°C durante 25 minutos, también está entre el dihidrato y hemihidrato; y si se muele a la misma temperatura durante 40 minutos, entonces pasa casi totalmente a hemihidrato. La extensión de la deshidratación del yeso en el cemento molido, a 130°C durante 15 a 40 minutos, fué casi total a la forma de hemihidrato; pero si a la misma temperatura se muele durante 80 minutos, en este caso el grado de deshidratación se encuentra entre hemihidrato y anhidrita soluble.

La deshidratación del yeso en cemento, molido a 150°C durante 40 minutos, es casi totalmente hemihidrato; y molido a la misma temperatura durante 100 minutos, está entre hemihidrato y anhidrita soluble. A temperaturas de molienda superiores a 130°C, el yeso en cemento se deshidrata rápidamente pasando a hemihidrato y después a anhidrita soluble.

La anhidrita soluble se dice que es muy higroscópica.

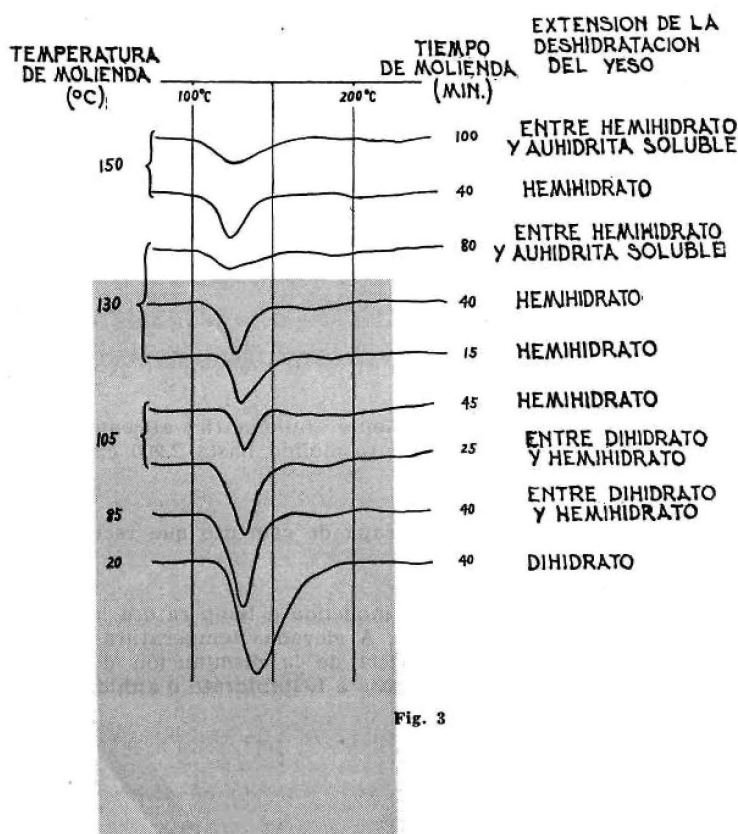


Fig. 3

Parece ser que la anhidrita soluble producida en el cemento por molienda a temperaturas elevadas, se rehidrata parcialmente a hemihidrato cuando el cemento sale del molino. Podemos decir que a temperaturas superiores a 130° C, el yeso se deshidrata casi totalmente y pasa a anhidrita soluble en el proceso de molienda.

La calidad del cemento molido a 3.450 cm²/g Blaine, a varias temperaturas, se representa en la tabla I.

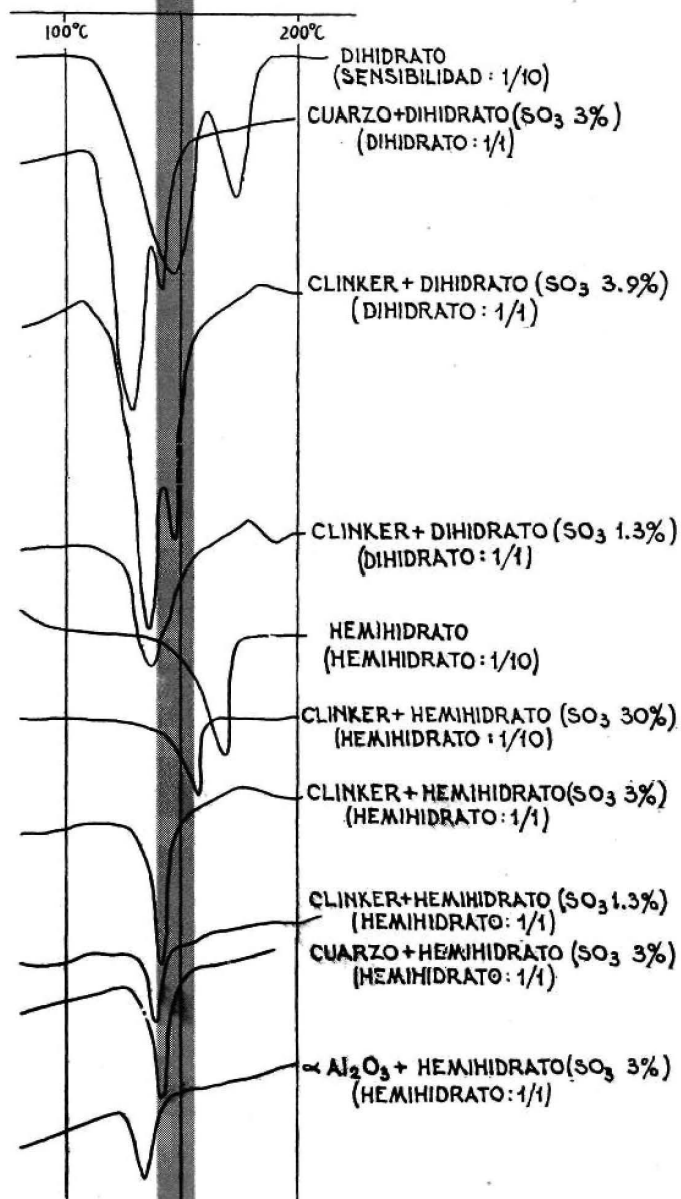
Cuanto mayor es la temperatura de molienda, empleando el mismo yeso y los mismos elementos molidores, más corto es el tiempo de fraguado del cemento obtenido. Este resultado está de acuerdo con los de S. Mori y otros, que dicen que, a mayor valor de *n*, mayor es el tiempo de fraguado. No obstante, el tiempo de fraguado del cemento molido con cylpebs, y que tiene mayor valor de *n*, es el más pequeño.

Generalmente el cemento molido a 20° C tiene una ligera tendencia al falso fraguado e, igualmente, el cemento molido a 20° C con hemihidrato muestra un fraguado normal después de la aireación durante 15 horas. El cemento molido a 20° C con dihidrato, rara vez tiende al falso fraguado por aireación. Los cementos molidos a 85 ó 105° C con dihidrato tienen tendencia al falso fraguado por aireación, tendencia que desaparece después de una aireación de quince horas.

El cemento molido a 130 ó 150° C con piedra de yeso, posee una notable tendencia al falso fraguado por aireación. La tendencia al falso fraguado cuando se muele a 85 ó 105° C con hemihidrato, es similar a la del cemento molido por encima de 130° C con yeso natural.

Cuanto peor es la distribución granulométrica del cemento, mayor será la tendencia al falso fraguado por aireación, aunque el cemento se muele a 20° C con yeso. Por lo tanto, debemos concluir: que no sólo la extensión de la deshidratación del yeso, sino también la composición granulométrica del cemento, afectan su tendencia al falso fraguado por aireación.

La resistencia del mortero hecho con cemento molido a bajas temperaturas es generalmente superior a la del cemento molido a temperaturas elevadas. Este fenómeno parece ser que resulta del mayor valor de *n* en la composición granulométrica del cemento molido a temperaturas bajas.



F. S. S.

Fig. 4

TABLA N.º 1.—CUALIDADES DEL CEMENTO ACABADO

Condiciones de molinenda Núm.	Superficie específica Blaine (cm²/g)	Residuo sobre tamiz 80 µ (‰)	Arrastre por aire				Pérdida a/c (‰)	Falso fraguado por JASS **			JIS R 5201					
			>15 µ (‰)	>40 µ (‰)	15 µ ≤ 40 µ (‰)	n		k X10-4 µ-1	Penetración inicial (mm)	Después de 5 min. (mm)	Después de 10 min. (mm)	Falso fraguado	a/c (‰)	Fraguado (inic. h.m.)	Fraguado (final h.m.)	
1	3460	0,8	62,8	26,8	35,8	1,07	265	0,53	23,9	35	29	26	no	23,9	2 ²²	3 ¹¹
2	3470	0,7	63,2	26,6	36,6	1,10	237	0,54	23,6	33	6	6	tiene	23,6	2 ¹⁶	3 ⁰⁸
3	3450	0,8	63,2	26,4	36,8	1,10	234	0,47	24,3	35	8	4	tiene	24,3	2 ¹⁷	3 ⁰⁶
4	3460	0,8	61,0	27,6	33,4	1,00	333	0,45	23,5	36	21	8	tiene	23,5	1 ⁵⁷	2 ⁰²
5	3500	2,2	61,0	28,2	32,8	0,98	353	0,43	23,1	36	33	24	no	23,1	1 ⁴²	2 ⁰⁶
6	3450	0,3	64,4	24,4	40,0	1,20	168	0,83	25,8	35	31	33	no	25,8	2 ⁰²	3 ⁴²
7	3460	0,3	64,6	25,6	39,0	1,17	178	0,58	24,5	35	32	29	no	24,5	2 ⁴⁵	3 ⁰⁴
8	3460	0,3	64,4	24,8	39,6	1,19	176	0,56	25,5	36	35	36	no	25,5	2 ⁰⁹	3 ¹⁰
9	3440	1,2	62,0	28,0	34,0	1,02	304	0,42	24,3	34	14	14	tiene	24,3	1 ⁵⁷	2 ⁴¹
10	3440	1,4	62,6	28,8	33,8	1,02	295	0,44	24,0	36	12	16	tiene	24,0	1 ⁴⁰	2 ⁰⁴
11	3440	0,8	60,4	24,2	36,2	1,07	268	0,38	28,5	32	8	2	tiene	28,5	4 ²⁴	6 ⁰¹
12	3430	2,2	58,8	24,6	34,2	1,00	344	0,40	26,0	33	1	0	tiene	26,0	2 ⁴⁰	3 ⁵⁰
13	3440	0,3	63,8	24,0	39,8	1,19	178	0,80	25,0	34	30	30	no	25,0	2 ⁵²	3 ³⁶
14	3470	1,1	62,4	28,0	34,4	1,03	288	0,55	24,2	35	16	12	tiene	24,2	1 ⁵²	2 ³⁰
15	3400	1,4	63,0	28,0	35,0	1,05	265	0,84	24,2	34	30	20	no	24,2	2 ⁴²	3 ³⁵
16	3440	2,4	60,0	27,4	32,6	0,97	363	0,50	23,7	36	16	4	tiene	23,7	1 ¹⁰	1 ⁵⁶
17	3430	0,3	62,6	21,2	41,4	1,24	166	0,82	26,3	34	33	30	no	26,3	2 ¹⁵	3 ¹³
18	3420	1,0	63,2	25,8	37,4	1,12	214	0,52	24,2	22	12	12	tiene	24,2	1 ³⁵	2 ²¹

Condiciones de molinenda Núm.	a/c (‰)	Flujo (mm)	Resistencia del mortero JIS				Pérdida a/c (‰)	Falso fraguado por JASS **			JIS R 5201							
			Resistencia a flexión (kg/cm²) 3 d	7 d	28 d	Resistencia a compr. (kg/cm²) 3 d		7 d	28 d	Penetración inicial (mm)	Después de 5 min. (mm)	Después de 10 min. (mm)	Falso fraguado	a/c (‰)	Fraguado (inic. h.m.)	Fraguado (final h.m.)		
1	65	273	549	39,9	61,0	77,2	178	313	491	0,57	25,0	35	18	9	tiene	25,0	3 ⁰⁰	3 ⁴³
2	65	267	546	35,8	52,2	80,0	152	281	456	0,58	24,4	37	2	3	tiene	24,4	2 ⁴⁵	3 ²⁵
3	65	262	545	35,8	60,4	80,6	161	305	478	0,64	23,8	35	2	1	tiene	23,8	2 ⁰⁸	3 ⁰¹
4	65	265	542	33,0	50,1	77,3	153	287	437	0,48	24,0	38	32	25	no	24,0	2 ⁴⁵	3 ²³
5	65	263	542	37,3	56,1	70,8	164	291	436	0,48	23,8	37	35	30	no	23,8	2 ⁴²	3 ²⁰
6	65	261	551	42,0	60,1	81,2	172	328	478	0,90	25,8	34	20	12	tiene	25,8	3 ²²	4 ¹⁵
7	65	270	551	41,4	65,3	87,6	183	329	469	0,79	24,7	32	32	28	no	24,7	3 ⁰⁵	4 ²⁰
8	65	250	549	46,7	64,3	81,6	181	336	481	0,67	25,8	34	3	2	tiene	25,8	3 ⁰⁸	4 ²⁰
9	65	267	545	38,6	56,4	75,5	161	283	431	0,55	24,5	32	7	6	tiene	24,5	3 ⁰⁶	3 ⁵⁷
10	65	265	542	34,4	53,7	77,9	162	290	406	0,49	24,8	11	3	2	tiene	24,5	2 ⁴⁹	3 ²⁵
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,45	28,3	33	2	1	tiene	28,3	3 ⁴⁰	6 ⁰⁰
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,45	26,3	33	1	1	tiene	26,3	2 ²⁵	3 ⁴⁵
13	65	271	552	41,1	64,8	78,2	182	325	493	0,90	27,0	34	31	29	no	27,0	3 ²⁷	3 ⁴⁰
14	65	269	546	39,8	56,2	71,6	168	278	450	0,63	24,5	36	6	5	tiene	24,5	2 ²⁴	3 ²⁰
15	65	256	547	37,0	57,9	74,8	174	304	449	0,90	24,7	35	34	30	no	24,7	3 ²⁴	4 ¹⁰
16	65	258	542	34,0	49,9	70,0	157	261	414	0,54	24,0	36	14	5	tiene	24,0	1 ³¹	2 ²⁴
17	65	272	550	45,1	60,6	80,3	179	318	484	0,92	26,0	34	31	28	no	26,0	2 ¹⁵	3 ⁰⁰
18	65	281	550	40,9	56,0	74,5	164	288	468	0,57	24,5	34	2	1	tiene	24,5	2 ¹⁵	2 ⁴²

Condiciones de molinenda Núm.	Pérdida a/c (‰)	Falso fraguado por JASS **				JIS R 5201		Pérdida a/c (‰)	Falso fraguado por JASS **			JIS R 5201						
		a/c (‰)	Penetración inicial (mm)	Después de 5 min. (mm)	Después de 10 min. (mm)	Falso fraguado	a/c (‰)		Fraguado inicial (h. m.)	Fraguado final (h. m.)	a/c (‰)	Fraguado inicial (h. m.)	Fraguado final (h. m.)					
1	0,80	24,5	34	1	1	tiene	24,5	3 ⁰²	—	1,13	24,2	35	25	15	tiene	24,2	4 ²⁷	5 ³⁰
2	0,78	24,8	34	2	2	tiene	24,8	3 ⁴⁰	—	1,27	25,0	34	6	5	tiene	25,0	4 ¹⁵	5 ³⁰
3	0,78	25,0	15	1	1	tiene	25,0	3 ⁴⁴	—	1,06	25,0	34	2	1	tiene	25,0	4 ⁰⁵	6 ⁰⁰
4	0,74	24,3	34	3	1	tiene	24,3	3 ⁴¹	—	1,31	24,3	35	1	1	tiene	24,3	4 ⁰⁰	5 ⁵⁰
5	0,70	23,9	34	1	1	tiene	23,9	3 ⁴²	—	1,28	24,0	37	1	1	tiene	24,0	3 ⁴²	5 ⁴⁵
6	1,20	27,0	35	28	32	no	27,0	4 ⁰¹	—	1,76	27,8	36	30	18	no	27,8	5 ¹⁰	6 ²⁴
7	0,97	25,8	34	6	5	tiene	25,8	3 ²²	—	1,62	26,5	36	31	23	no	26,5	4 ²⁵	5 ⁴²
8	0,84	26,8	7	3	4	tiene	26,8	4 ⁰⁷	—	1,27	25,0	35	27	15	tiene	25,0	5 ¹⁴	6 ²²
9	0,68	26,0	8	4	5	tiene	26,0	4 ⁰⁴	—	1,06	24,2	34	1	1	tiene	24,2	5 ²³	6 ²⁵
10	0,70	25,5	9	4	4	tiene	25,5	4 ⁰⁸	—	1,07	24,5	34	0	0	tiene	24,5	5 ⁰¹	6 ⁴⁵
11	0,71	29,6	38	17	9	tiene	29,6	3 ⁴³	—	1,40	29,5	8	3	2	tiene	29,5	5 ⁴⁵	7 ¹⁰
12	0,87	28,0	35	0	0	tiene	28,0	2 ²⁴	3 ³⁰	1,32	27,8	30	3	2	tiene	27,8	3 ⁰⁰	4 ³⁰
13	1,11	26,3	33	15	14	tiene	26,3	4 ⁰⁵	—	1,73	26,0	35	29	24	no	26,0	4 ¹⁰	5 ⁴⁸
14	0,80	24,5	6	0	0	tiene	24,5	Softn 1 ¹¹ 2 ³⁰ ***	—	1,08	25,0	34	1	0	tiene	25,0	3 ⁴¹	4 ³⁰
15	1,09	26,3	34	11	7	tiene	26,3	3 ⁰¹	—	1,84	26,0	37	31	26	no	26,0	4 ²¹	6 ⁰⁰
16	0,78	23,0	35	0	0	tiene	23,0	9 ⁰²	2 ⁰⁷	1,27	24,0	35	1	0	tiene	24,0	3 ²⁴	6 ¹²
18	0,75	25,0	33	27	23	no	27,4	3 ²⁷	—	2,05	28,3	35	33	28	no	28,3	4 ²¹	6 ⁰⁰
17	1,13	27,4	15	1	0	tiene	25,0	3 ¹⁵	—	1,32	25,8	25	6	5	tiene	25,8	4 ⁰⁰	6 ²¹

* Condición: humedad relativa, 85 %.
 Temperatura: 20°C; 2 cm de espesor.
 ** Japanese Architectural Standard Specification.
 *** Doble fraguado.