

Estudio teórico de los crudos de cemento Portland de la provincia de Burgos

JESÚS GADEA SÁINZ (*)
JESÚS SORIANO CARRILLO (**)
JOAN GASPAR RIBAS BERNAT (***)

RESUMEN En Burgos y en su área de influencia se ha incrementado la demanda de materiales de construcción, como consecuencia del espectacular desarrollo de infraestructuras y de la edificación, lo que aconseja una investigación de las materias primas que puedan ser utilizadas para la fabricación de clínker de cemento Portland. Por esta razón, se ha realizado un estudio de diferentes de los crudos y clínkeres que se pueden formar con las materias primas existentes en dicha provincia.

STUDIES OF CEMENT RAW MIXES IN BURGOS (SPAIN)

ABSTRACT Building raw materials demand in Burgos city and its influence areas has clearly increased in the last years as a consequence of public works and building development. For this reason it is necessary to carry out a study to the raw materials that can be used in the Portland cement clinker. To estimate the cement raw materials, raw mixes of different chemical composition, have been composed with these raw materials.

Palabras clave: Crudo; Materia prima; Clínker; Cemento.

1. PRÓLOGO

En la provincia de Burgos no existe ninguna fábrica de cemento y según el "Atlas del medio físico de la ciudad de Burgos y su marco provincial" (2), existen materiales primas aptos para la fabricación de cementos.

El consumo de cemento de la provincia, en la que habitan 355.138 habitantes, en el año 1990 fue de 306.396 Tm, lo que representa el 13,82% del de la Comunidad Castellano-Leonesa (4).

Estudios realizados por J. Gadea (5) nos ha permitido conocer las características químicas de las materias primas susceptibles de ser utilizadas como materias primas en la fabricación de clínker de cemento Portland.

Por todo ello, nos es posible realizar un estudio teórico de los crudos y clínkeres que se pueden formar con las materias primas existentes en la provincia de Burgos.

2. OBJETO DEL TRABAJO

Nos proponemos, a partir del conocimiento de la composición química de las calizas y arcillas de la provincia de Burgos, realizar un estudio teórico de la dosificación de los crudos binarios que se pueden formar con las materias primas

existentes en la Provincia de Burgos, para predecir las propiedades de los clínkeres que se puedan obtener.

También se estudiarán todos los crudos cuaternarios obtenidos al añadir a los binarios los dos correctores anteriores con los mismos objetivos.

3. PARÁMETROS QUE DEFINEN UN CRUDO

Para la fabricación del clínker de cemento es preciso disponer, de forma natural u obtener de forma artificial, de una mezcla de materias primas cuya composición química esté comprendida entre ciertos límites.

En la práctica, la composición del crudo (y también la del clínker de cemento Portland) se designa y caracteriza en la mayoría de los casos mediante relaciones (módulos), para cuyo cálculo se utilizan los porcentajes de óxidos determinados por análisis químicos.

Estos módulos que definen la composición del crudo son:

3.1. STANDAR DE CAL O GRADO DE SATURACIÓN EN CAL

El objetivo de este módulo es fijar el contenido óptimo de cal para formar con los óxidos de las arcillas los componentes hidráulicos del clínker, sin que quede CaO libre que podría dar lugar, por reacción posterior del cemento con el agua, a daños en los morteros u hormigones a causa de fenómenos de expansión.

Se emplea en los cálculos el standar de cal definido por Lea y Parker (1) y expresado por:

$$G.S.P. = \frac{100CaO}{2.8ASiO_2 + 1.1Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3}$$

(*) Doctor en Ciencias Químicas. Dpto. Construcciones Arquitectónicas e Ingeniería de la Construcción y del Terreno. Universidad de Burgos.

(**) Doctor en Ciencias Geológicas. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX (MOPTMA).

(***) Doctor en Ciencias Químicas. Dpto. Química Inorgánica. Universidad de Valladolid.

El contenido óptimo de cal corresponde a un valor G.S.P. = 100, pero como los procesos de cocción del crudo y enfriamiento del clinker no se producen en condiciones de equilibrio, se utiliza un G.S.P. = 95 para evitar la aparición de cal libre en el clinker.

3.2. MÓDULO SILÍCO

Debido a Kühl (1) y representado por:

$$Ms = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Este módulo caracteriza la relación entre sólido y líquido en la sinterización, ya que el SiO_2 predomina ampliamente en las fases sólidas (C_3S y C_2S) a la temperatura de sinterización, mientras que, por el contrario, la alúmina y el óxido férrico predominan en la fase líquida (el fundido). En los cementos industriales, el valor varía según autores, así, para D. Knüfel (7) el módulo silíceo se halla comprendido entre 1,8 y 3,0 y para F. Soria (9) su valor oscila entre 1,2 y 4,0, siendo el valor más utilizado el de 2,5.

3.3. MÓDULO DE FUNDENTES O MÓDULO ALUMINICO-FÉRRICO

También establecido por Kühl (1) y dado por:

$$MF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

Este módulo caracteriza la composición de la fase fundida, ya que a la temperatura de sinterización, ambos óxidos se encuentran, casi en su totalidad, contenidos en dicha fase. Cantidades crecientes de óxido férrico, y por tanto, de los valores del módulo, suponen una disminución de la viscosidad del fundido.

Para valores de MF < 0,638, deja de formarse la fase aluminato tricálcico (C_3A) del clinker. Según D. Knüfel (7), este módulo oscila entre 1,8 y 2,8 y para F. Soria (9), oscila entre 1,0 y 4,0 siendo 2,0 el valor más utilizado.

En cuanto a la dosificación cuantitativa de los crudos, hemos de tener en cuenta que durante la transformación del crudo en clinker se produce una pérdida de peso por desprendimiento de productos volátiles (CO_2 en las calizas, H_2O de constitución en las arcillas, etc.).

Habida cuenta de las pérdidas de material que tienen lugar en el proceso de fabricación, en la práctica se considera que son necesarios de 1,55 a 1,60 Kg de crudo seco para obtener 1 Kg de clinker, por lo que el factor crudo/clinker estará fluctuando entre 1,55 y 1,60.

4. DOSIFICACIÓN DE CRUDOS

El problema de la dosificación de un crudo para cemento Portland se plantea siempre en forma de ecuaciones en cuyo cálculo intervienen como datos los de la composición de las materias primas principales de que se disponen. Es muy raro el caso en que la composición de una sola materia prima sea tal que, una vez calcinada, el producto resultante responda a la composición del clinker, así pues queda descartada prácticamente la posibilidad de disponer de crudos que pudieran llamarse unitarios por estar constituidos por un solo material.

En general, la fabricación del clinker requiere, según las circunstancias, **crudos binarios**, obtenidos por la debida dosificación y mezcla de dos materiales; **crudos ter-**

narios, formados por tres materias primas o **crudos cuaternarios**, obtenidos a partir de cuatro materiales. En general, son muy poco frecuentes los casos en los que es preciso recurrir a un mayor número de materiales, pudiendo decirse que incluso las dosificaciones cuaternarias se salen de lo corriente.

En el planteamiento de las ecuaciones de dosificación se cuenta siempre con una ecuación que expresa que la suma de los tantos por ciento de las materias primas que intervienen es igual a 100. Por tanto, para que el sistema sea determinado, es necesario disponer, además de la ecuación anterior, de tantas otras ecuaciones como materias primas menos una se utilicen. Cada una de estas nuevas ecuaciones de dosificación se cuenta siempre con una ecuación que expresa que la suma de los tantos por ciento de las materias primas que intervienen es igual a 100. Por tanto, para que el sistema sea determinado, es necesario disponer, además de la ecuación anterior, de tantas otras ecuaciones como materias primas menos una se utilicen. Cada una de estas nuevas ecuaciones expresa una condición del crudo y por tanto, de la dosificación.

En el caso de dosificaciones binarias, y dado que partiendo de dos materias primas sólo puede fijarse una condición numérica al crudo resultante, esta suele ser el grado de saturación en cal.

En las dosificaciones ternarias, las dos condiciones suelen ser el grado de saturación en cal y el módulo silíceo y en las cuaternarias, además de las anteriores, el módulo de fundentes.

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

5.1. METODOLOGÍA DE CAMPO

Se eligieron un total de 25 canteras distribuidas a lo largo de la provincia de Burgos, de las que 15 fueron de caliza y 10 de arcilla.

5.2. ANÁLISIS QUÍMICO

Para la dosificación del crudo es necesario un análisis químico completo de los componentes principales: sílice (dióxido de silicio); alúmina (óxido de aluminio); óxido de hierro III y cal (óxido de calcio), así como de los componentes secundarios: pérdida por calcinación; trióxido de azufre y álcalis (óxido de sodio y óxido de potasio).

Se han analizado varias muestras de cada cantera y se ha utilizado el valor medio de cada cantera.

Estos datos químicos se han obtenido de (5).

5.3. CRITERIOS EMPLEADOS PARA LA DOSIFICACIÓN DE CRUDO

Para la dosificación de crudos se ha utilizado, con algunas modificaciones, el programa desarrollado por García Callejas (6), a partir del propuesto anteriormente por A. de Benito en García Calleja.

En dicho programa se fijan los valores del grado de saturación de cal, del módulo de silicatos y del módulo de fundentes en 95, 2,5 y 2 respectivamente, en función del número de componentes utilizados.

5.4. RELACIÓN DE CANTERAS DE CALIZA ESTUDIADAS

Nº Cantera	Término Municipal	Hoja M.M.E. E.1:200.000	Ubicación
01	Hontoria de la Cantera	5-3	30TVM4771
02	Cardenero Río Pico	5-3	30TVM5689
03	Olmos de Atapuerca	5-3	30TVN5593
04	Quintanavides	5-3	30TVN6404
05	Santa Olalla	5-3	30TVN6303
06	Villaverde Peñahorada	5-3	30TVN4501
07	Peñahorada	5-3	30TVN4504
08	Bárcena de Bureba	5-3	30TVN5518
09	Villalain	5-2	30TVN5251
10	Villanueva la Loba	5-2	30TVN5654
11	El Ribero	5-2	30 TVN6165
12	Vivero de Mena	5-2	30TVN7171
13	Los Ausines	5-3	30TVM4876
14	Los Ausines	5-3	30TVM5174
15	Castrovido	5-3	30TVM7756

5.5. RELACIÓN DE CANTERAS DE ARCILLA ESTUDIADAS

Nº Cantera	Término Municipal	Hoja M.M.E. E.1:200.000	Ubicación
16	Pancorbo	6-3	30TVN9021
17	Pancorbo	6-3	30TVN9122
18	Pancorbo	6-3	30TVN9123
19	Aguilar de Bureba	5-3	30TVM4290
20	Pino de Bureba	5-2	30TVN6528
21	Burgos	5-3	30TVM4290
22	Burgos	5-3	30TVM4188
23	Burgos	5-3	30TVM4590
24	Cascajares de la Sierra	5-3	30TVM6657
25	Huerto del Rey	5-4	30TVM7733

5.6. ANÁLISIS QUÍMICOS MEDIOS DE LAS CALIZAS

Cantera	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl ⁻	SO ₃	ppm
01	55,27	0,14	0,33	0,17	0,09	0,02	0,04	0,01	0,02	43,57
02	52,83	0,27	4,02	0,58	0,25	0,03	0,09	0,02	0,01	41,80
03	50,06	1,56	5,73	0,98	0,37	0,06	0,20	0,01	0,03	41,01
04	55,13	0,16	0,60	0,21	0,07	0,02	0,04	0,01	0,07	43,49
05	53,87	0,28	2,12	0,62	0,21	0,04	0,13	0,01	0,01	42,61
06	54,64	0,30	1,10	0,30	0,11	0,02	0,06	0,02	0,02	43,25
07	50,48	3,09	2,51	0,52	0,17	0,03	0,09	0,01	0,11	43,05
08	55,74	0,23	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,01	0,01	44,02
09	52,44	0,37	4,70	0,34	0,15	0,02	0,09	0,01	0,03	41,73
10	51,51	0,71	5,09	0,79	0,36	0,02	0,18	0,02	0,03	41,24
11	51,73	2,82	1,19	0,11	0,05	0,02	0,05	0,01	0,01	43,75
12	44,32	0,61	16,73	1,71	0,56	0,19	0,26	0,01	0,04	35,51
13	55,51	0,15	0,41	0,10	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	43,61
14	54,87	0,22	0,83	0,21	0,12	0,01	0,11	0,01	0,02	43,37
15	50,74	0,53	6,64	0,84	0,48	0,05	0,19	0,01	0,05	40,74

5.7. ANÁLISIS QUÍMICOS MEDIOS DE LAS ARCILLAS

Cantera	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl ⁻	SO ₃	ppm
16	14,48	2,55	46,63	13,01	3,95	0,38	2,69	0,01	0,04	16,20
17	17,54	2,63	35,55	15,87	5,32	0,34	3,12	0,01	0,12	19,26
18	14,62	2,14	42,15	15,45	5,25	0,52	2,95	0,01	0,06	16,67
19	19,56	2,45	42,13	9,87	3,12	0,21	2,94	0,00	0,08	19,35
20	12,77	1,46	46,88	15,95	4,01	0,21	2,97	0,01	0,02	15,55
21	5,03	4,10	50,40	17,09	6,57	0,33	3,43	0,01	0,05	12,19
22	6,16	4,07	55,04	13,99	4,66	0,20	3,02	0,01	0,02	12,65
23	5,39	2,78	59,03	13,88	5,20	0,34	2,69	0,00	0,29	10,19
24	0,21	0,26	73,70	16,22	2,14	0,15	1,09	0,02	0,01	6,17
25	17,19	0,46	58,90	6,15	1,80	0,10	0,89	0,01	0,01	14,14

5.7. ANÁLISIS QUÍMICOS DEL MINERAL DE HIERRO Y DE LA ARENA SILÍCA

Cantera	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl ⁻	SO ₃	ppm
16	14,48	2,55	46,63	13,01	3,95	0,38	2,69	0,01	0,04	16,20
17	17,57	2,63	35,55	15,87	5,32	0,34	3,12	0,01	0,12	19,26

6. RESULTADOS

A continuación y en tablas sucesivas, se muestran los resultados obtenidos al mezclar las calizas y arcillas de la distintas canteras estudiadas.

En todos los casos se han estudiado las mezclas ternarias, al añadir a la mezcla binaria la arena de Montorio (corrector silíceo) o el mineral de hierro (Gothita del campo de Calatrava, con el objetivo de mejorar la composición de los crudos y con ello la composición del clínker.

También se ha calculado las mezclas cuaternarias con los mismos objetivos.

La notación utilizada en las tablas adjuntas, expresa la procedencia de las materias primas utilizadas. Así, por ejemplo la notación C9-A16 representa que la caliza procede de la cantera N° 9 (Villalain) y la arcilla N° 16 (Pancorbo I). En las citadas tablas, también se reflejan los valores del módulo de silicatos (M.S.), módulo de fundentes (M.F.), grado de saturación en cal (G.S.P.), y óxido de sodio equivalente (Na_2O total). Igualmente se indica el análisis del clínker teórico y del clínker potencial obtenido para la dosificación de crudos empleada.

En las mezclas estudiaremos su MS, MF y su Na_2O total para ver si se ajustan a los valores exigidos.

En el clínker teórico estudiaremos si se cumplen las condiciones que impone la norma UNE-80-302-85 y que son:

- 1) Los clínkeres de Portland deben estar compuestos, al menos en dos tercios de su masa por silicatos cálcicos.
- 2) La relación $\text{CaO}\%$ y $\text{SiO}_2\%$ no debe ser inferior a dos.
- 3) El contenido de óxido magnésico (MgO) no debe ser superior al 5%.

En el clínker potencial estudiaremos en que concentraciones se encuentran los componentes mineralógicos.

Las canteras de la provincia de Burgos se han dividido en tres grandes zonas atendiendo a la ubicación y a las distancias entre ellas.

Zona Norte:

Formada por las canteras de caliza de Villalain (C-9), Villanueva la Lastra (C-10), El Ribero (C-11) y Vivanco de Mena (C-12), situadas todas ellas en la parte Norte de la provincia, y las arcillas de Pancorbo I (A-16), Pancorbo II (A-17), Pancorbo III (A-18), Aguilar de Bureba (A-19) y Pino de Bureba (A-20), situadas en la comarca burgalesa de la Bureba.

Zona Centro:

Calizas de Cardenuela-Río Pico (C-2), Olmos de Atapuerca (C-3), Quintanavides (C-4), Santa Olaya (C-5), Villaverde Peñahorada (C-6), Peñahorada (C-7) y Barcoena (C-8), con las arcillas de la Bureba, anteriormente reseñadas, y las de Burgos I (A-21), Burgos (A-22) y Burgos III (A-24) próximas a la ciudad de Burgos.

Zona Sur:

Calizas de Hontoria (C-1), los Ausines I (C-13), Los Ausines II (C-14) y Castrovido (C-15), todas ellas situadas al sur de la ciudad de Burgos, con las arcillas Burgos I, Burgos II y Burgos III, citadas anteriormente, además de las arcillas de Cascajares de la Sierra (A-24) y Huerta del Rey (A-25).

ANÁLISIS DE CRUDOS

MATERIALES	C9-16	C9-16	C9-16	C9-16
% Caliza	76,23	72,70	75,66	74,08
% Arcilla	23,77	32,03	22,41	27,41
% Arena	—	-4,73	—	-2,46
% M. Hierro	—	—	2,03	0,98
SiO_2	14,67	13,98	14,20	14,04
Al_2O_3	3,35	4,22	3,25	3,76
Fe_2O_3	1,05	1,37	2,43	1,88
CaO	43,42	42,76	42,92	42,84
K_2O	0,71	0,79	0,68	0,73
Na_2O	0,11	0,13	0,11	0,12
Cl	0,01	0,01	0,01	0,01
p.p.c.	35,66	35,52	35,34	35,43
G.S.P.	95,00	95,00	95,00	95,00
M.S.	3,33	2,50	2,50	2,50
M.F.	3,18	3,09	1,34	2,00
Na_2O TOTAL	0,57	0,63	0,55	0,60

ANÁLISIS CLINKER TEÓRICO

SiO_2	22,81	21,69	21,98	21,83
Al_2O_3	5,21	6,55	5,03	5,82
Fe_2O_3	1,64	2,12	3,76	2,91
CaO	67,52	66,35	66,43	66,39
MgO	1,38	1,68	1,39	1,51
SO_3	0,05	0,05	0,07	0,07
K_2O	1,10	1,22	1,03	1,14
Na_2O	0,16	0,20	0,17	0,19
Cl	0,02	0,02	0,02	0,02
FACTOR CRU/CLIN	1,55	1,55	1,55	1,55

ANÁLISIS CLINKER POTENCIAL

MATERIALES	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
C9 - A16	64,	17,	11,0	5,0
C9 - A16 - AS	—	—	—	—
C9 - A16 - MH	64,	15,	7,0	11,4
C9 - A16 - AS - MH	—	—	—	—

C9 - A16:

- 1) $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_2\text{S} = 81\% > 68\%$
- 2) $\text{CaO} / \text{SiO}_2 = 2,96 > 2$
- 3) $\text{MgO} = 1,38\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: Crudo que por sus módulos reaccionará con dificultad, formando además una pequeña concentración de fundentes. Alcalinos bajos, incluso para utilizarlo con áridos reactivos.

C9 - A16 - MH:

- 1) $C_3S + C_2S = 79\% > 68\%$
- 2) $CaO / SiO_2 = 3,02 > 2$
- 3) $MgO = 1,39\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: La adición del mineral de hierro hace más reactivo al crudo al aumentar el fundente. La relación entre los silicatos del clinker se acerca a los valores medios y disminuye la concentración de C_3A , aumentando la de C_4AF , por lo que se mejora el comportamiento químico del cemento frente a los sulfatos y el agua de mar.

ANÁLISIS DE CRUDOS

MATERIALES	C9-17	C9-17	C9-17	C9-17
% Caliza	71,31	73,58	71,60	74,75
% Arcilla	28,69	24,36	29,94	21,06
% Arena	—	2,06	—	3,28
% M. Hierro	—	—	-1,55	0,98
SiO_2	13,55	14,02	13,86	14,11
Al_2O_3	4,80	4,20	4,94	3,76
Fe_2O_3	1,63	1,41	0,61	1,89
CaO	42,43	42,87	42,77	42,93
K_2O	0,96	0,89	0,99	0,82
Na_2O	0,11	0,10	0,11	0,10
Cl^-	0,01	0,01	0,01	0,01
p.p.c.	35,28	35,40	35,31	35,34
G.S.P.	95,00	95,00	95,00	95,00
M.S.	2,11	2,50	2,50	2,50
M.F.	2,94	2,98	8,11	2,00
Na_2O TOTAL	0,74	0,68	0,77	2,00

ANÁLISIS CLINKER TEÓRICO

SiO_2	20,96	21,72	21,51	23,85
Al_2O_3	7,42	6,51	7,66	5,83
Fe_2O_3	2,53	2,18	0,94	2,91
CaO	65,62	66,41	66,37	66,44
MgO	1,58	1,42	1,58	1,32
SO_2	0,09	0,08	0,07	0,08
K_2O	1,25	1,37	1,34	1,28
Na_2O	0,17	0,16	0,17	0,14
Cl^-	0,02	0,02	0,02	0,02
FACTOR CRU/CLIN	1,55	1,55	1,55	1,55

ANÁLISIS CLINKER POTENCIAL

MATERIALES	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
C9 - A17	54,	19,	15,4	7,7
C9 - A17 - AS	58,	18,	13,6	6,6
C9 - A17 - MH	—	—	—	—
C9 - A17 - AS - MH	61,	17,	10,5	8,9

CONCLUSIÓN: Crudo que por sus módulos reaccionará con dificultad, formando además una pequeña concentración de fundentes. Alcalinos bajos, incluso para utilizarlo con áridos reactivos.

C9 - A17:

- 1) $C_3S + C_2S = 73\% > 68\%$
- 2) $CaO / SiO_2 = 3,13 > 2$
- 3) $MgO = 1,58\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: Crudo con carencia de SiO_2 que se observa en la pequeña cantidad de C_3S presente en el clinker potencial. Elevada concentración de alcalinos, lo que puede presentar problemas para utilizarlo con áridos reactivos. Elevada cantidad de C_3A , lo que nos dará una baja resistencia química.

C9 - A17 - AS:

- 1) $C_3S + C_2S = 78\% > 68\%$
- 2) $CaO / SiO_2 = 3,06 > 2$
- 3) $MgO = 1,42\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: El MF se mantiene alto; por eso existe en el clinker potencial un exceso de C_3A frente a C_4AF , lo que provoca una disminución de la resistencia química.

C9 - A17 - AS - MH:

- 1) $C_3S + C_2S = 78\% > 68\%$
- 2) $CaO / SiO_2 = 3,04 > 2$
- 3) $MgO = 1,32\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: La mezcla cuaternaria consigue un clinker con un reparto equilibrado entre los distintos componentes mineralógicos y mejora la resistencia química del cemento resultante.

ANÁLISIS DE CRUDOS

MATERIALES	C9-18	C9-18	C9-18	C9-18
% Coliza	74,95	74,78	74,91	75,73
% Arcilla	25,05	25,41	24,97	22,19
% Arena	—	-0,19	—	1,23
% M. Hierro	—	—	0,12	0,86
SiO ₂	14,08	14,04	14,06	14,13
Al ₂ O ₃	4,13	4,17	4,12	3,77
Fe ₂ O ₃	1,42	1,44	1,51	1,88
CaO	42,96	42,93	42,94	42,98
K ₂ O	0,81	0,81	0,80	0,76
Na ₂ O	0,12	0,12	0,12	0,11
Cl ⁻	0,01	0,01	0,01	0,01
p.p.c.	35,45	35,44	35,43	35,38
G.S.P.	95,00	95,00	95,00	95,00
M.S.	2,34	2,30	2,50	2,50
M.F.	2,89	2,89	2,73	2,00
Na ₂ O TOTAL	0,65	0,66	0,65	0,61

ANÁLISIS CLINKER TEÓRICO

SiO ₂	21,84	21,78	21,79	21,89
Al ₂ O ₃	6,40	6,47	6,38	5,84
Fe ₂ O ₃	2,21	2,24	2,33	2,92
CaO	66,62	66,56	66,56	66,57
MgO	1,26	1,27	1,26	1,20
SO ₂	0,06	0,06	0,06	0,06
K ₂ O	1,25	1,26	1,25	1,18
Na ₂ O	0,19	0,19	0,19	0,17
Cl ⁻	0,02	0,01	0,02	0,02
FACTOR CRU/CLIN	1,55	1,55	1,55	1,55

ANÁLISIS CLINKER POTENCIAL

MATERIALES	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
C9 - A18	59,	18,	13,2	6,7
C9 - A18 - AS	—	—	—	—
C9 - A18 - MH	59,	18,	13,0	7,1
C9 - A18 - AS - MH	61,	17,	10,5	8,9

C9 - A18:
 1) $C_3S + C_2S = 77\% > 68\%$
 2) $CaO / SiO_2 = 3,05 > 2$
 3) $MgO = 1,26\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: Crudo que por sus módulos reaccionará fácilmente. Resistencia química baja por exceso de C₃A. Alcalinos bajos, incluso para utilizarlo con áridos reactivos.

C9 - A18 - MH:
 1) $C_3S + C_2S = 77\% > 68\%$
 2) $CaO / SiO_2 = 3,04 > 2$
 3) $MgO = 1,26\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: Al ser tan pequeña la concentración de MH, la mejora no es perceptible.

C9 - A18 - AS - MH:
 1) $C_3S + C_2S = 79\% > 68\%$
 2) $CaO / SiO_2 = 3,04 > 2$
 3) $MgO = 1,20\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: La mezcla cuaternaria mejora la relación de los componentes del clinker potencial y con ello su comportamiento químico.

ANÁLISIS DE CRUDOS

MATERIALES	C9-18	C9-18	C9-18	C9-18
% Coliza	72,78	64,98	72,11	67,18
% Arcilla	27,22	42,81	25,09	37,36
% Arena	—	-7,80	—	-5,40
% M. Hierro	—	—	2,80	0,86
SiO ₂	14,89	13,89	14,23	13,99
Al ₂ O ₃	2,93	4,13	2,83	3,73
Fe ₂ O ₃	0,96	1,42	2,86	1,87
CaO	43,49	42,43	42,80	42,56
K ₂ O	0,87	1,09	0,81	1,00
Na ₂ O	0,07	0,09	0,08	0,09
Cl ⁻	0,01	0,01	0,01	0,01
p.p.c.	35,64	35,38	35,20	35,33
G.S.P.	95,00	95,00	95,00	95,00
M.S.	3,82	2,30	2,50	2,50
M.F.	3,06	2,90	0,99	2,00
Na ₂ O TOTAL	0,64	0,81	0,61	0,75

ANÁLISIS CLINKER TEÓRICO

SiO ₂	23,16	21,51	21,98	21,66
Al ₂ O ₃	4,56	6,40	4,37	5,78
Fe ₂ O ₃	1,49	2,21	4,42	2,89
CaO	67,63	65,76	66,11	65,87
MgO	1,46	2,00	1,47	1,83
SO ₃	0,07	0,08	0,09	0,09
K ₂ O	1,35	1,68	1,25	1,55
Na ₂ O	0,11	0,15	0,12	0,14
Cl ⁻	0,01	0,01	0,01	0,01
FACTOR CRU/CUN	1,55	1,55	1,55	1,55

ANÁLISIS CLINKER POTENCIAL

MATERIALES	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
C9 - A19	66,	16,	9,4	4,5
C9 - A19 - AS	—	—	—	—
C9 - A19 - MH	66,	13,	4,1	13,4
C9 - A19 - AS - MH	—	—	—	—

C9 - A19:

- 1) $C_3S + C_2S = 82\% > 67\%$
- 2) $CaO / SiO_2 = 3,01 > 2$
- 3) $MgO = 1,47\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: La mezcla ternaria presenta un MF muy bajo. Esto da lugar que la concentración de los fundentes sea $C_3A = 4\% < 5\%$ y $C_3A + C_4AF = 17\% < 22\%$, que hace de este cemento un cemento resistente al agua de mar (HR) y a los sulfatos (SR).

ANÁLISIS DE CRUDOS

MATERIALES	C9-20	C9-20	C9-20	C9-20
% Coliza	77,02	75,50	76,62	76,77
% Arcilla	22,98	26,71	22,25	21,65
% Arena	—	-2,22	—	0,30
% M. Hierro	—	—	1,13	1,28
SiO ₂	14,39	14,03	14,14	14,16
Al ₂ O ₃	3,93	4,23	3,83	3,78
Fe ₂ O ₃	1,04	1,18	1,80	1,89
CaO	43,32	43,00	43,05	43,06
K ₂ O	0,75	0,80	0,73	0,72
Na ₂ O	0,06	0,07	0,07	0,07
Cl ⁻	0,01	0,01	0,01	0,01
p.p.c.	35,71	35,65	35,54	35,52
G.S.P.	95,00	95,00	95,00	95,00
M.S.	2,90	2,50	2,50	2,50
M.F.	3,79	3,75	2,14	2,00
Na ₂ O TOTAL	0,56	0,59	0,55	0,54

ANÁLISIS CLINKER TEÓRICO

SiO ₂	22,40	21,81	21,95	21,97
Al ₂ O ₃	6,11	6,89	5,98	5,86
Fe ₂ O ₃	1,61	1,84	2,80	2,93
CaO	67,44	66,88	66,83	66,83
MgO	0,97	1,04	0,99	0,98
SO ₃	0,04	0,04	0,05	0,06
K ₂ O	1,17	1,24	1,14	1,13
Na ₂ O	0,10	0,11	0,10	0,10
Cl ⁻	0,02	0,01	0,02	0,02
FACTOR CRU/CUN	1,56	1,55	1,55	1,55

ANÁLISIS CLINKER POTENCIAL

MATERIALES	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
C9 - A20	61,	18,	13,5	4,9
C9 - A20 - AS	—	—	—	—
C9 - A20 - MH	61,	17,	11,2	8,5
C9 - A20 - AS - MH	61,	17,	10,6	8,9

C9 - A20:

- 1) $C_3S + C_2S = 79\% > 67\%$
- 2) $CaO / SiO_2 = 3,01 > 2$
- 3) $MgO = 0,97\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: MF muy elevado, lo que indica que el Fe_2O_3 total es bajo y, por tanto, le conviene una ligera adición de MH. Elevada concentración de C_3A , lo que producirá una pequeña resistencia química.

C9 - A20 - MH: 1) $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_2\text{S} = 78\% > 67\%$
2) $\text{CaO} / \text{SiO}_2 = 3,04 > 2$
3) $\text{MgO} = 0,99\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: La mezcla ternaria logra reducir el exceso de C_2S y aumentar la concentración de C_3AF .

C9 - A20 - AS - MH: 1) $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_2\text{S} = 78\% > 67\%$
2) $\text{CaO} / \text{SiO}_2 = 3,04 > 2$
3) $\text{MgO} = 0,99\% < 5\%$

CONCLUSIÓN: La mezcla cuaternaria logra mejorar la relación de los componentes mineralógicos del clinker.

7. CONCLUSIONES

Zona Norte

La caliza de Vivanco de Mena C12, no se puede utilizar para fabricar cemento mezclándola con las arcillas de la Zona Norte, aunque se utilicen correctores.

Los crudos binarios que forman el resto de las calizas son aceptables.

La mayoría de los crudos binarios se cocerán con dificultad debido a sus elevados módulos y los clinker obtenidos presentarán en su mayoría una baja resistencia química por tener una elevada concentración de C_3A .

Todos los cuadros binarios se pueden mejorar utilizando el adecuado corrector.

La arcilla A19 produce con las calizas y con el mineral de hierro crudos ternarios que dan lugar a cementos resistentes a los sulfatos y al agua de mar.

La arcilla A17 introduce en todos los crudos salvo en los cuaternarios un exceso de álcalis.

La caliza C11 da lugar a clinker con un contenido en MgO muy próximo al máximo permitido y por lo tanto estos cementos serán al menos sospechosos de ser expansivos.

En general son aceptables los crudos cuaternarios y todos ellos presentan las concentraciones de sus componentes mineralógicos parecidas y muy próximas a los valores óptimos.

Zona Centro

La caliza C7 no puede utilizarse con las arcillas A21 y A22 porque formarán clinker con un exceso de MgO . Este problema no se soluciona con la ayuda de los correctores.

El resto de los crudos binarios son posibles, aunque sus módulos difieren de los considerados óptimos y muchos presentan concentraciones de álcalis elevadas.

Estos últimos se pueden mejorar utilizando el corrector adecuado.

La caliza C7 da lugar a clinker con un contenido en MgO muy próximo al permitido y por tanto los cementos serán al menos sospechosos de ser expansivos.

Las arcillas A17 y A18 introducen una excesiva cantidad de álcalis en todos los crudos en los que intervienen.

En general son aceptables los crudos cuaternarios y todos ellos presentan las concentraciones de sus componentes mineralógicos parecidas y muy próximas a los valores óptimos, resolviendo en su totalidad el problema de álcalis.

Zona Sur

La arcilla A24 no forma crudos binarios aptos con ninguna de las calizas de la zona sur al presentar MF muy elevados.

La arcilla A25 no forma crudos binarios aptos con ninguna de las calizas de la zona sur al presentar MS muy elevados.

El resto de los crudos binarios es correcto.

La arcilla A25 no forma crudos ternarios aptos con el mineral de hierro y las calizas ya que sus módulos son menores de la unidad. Al ser además inferiores a 0,64 no se formarán en el clinker los componentes C_3A y C_4AF sino una fase sólida de fórmula C_6AF_2 .

La caliza C14 no forma con las arcillas A23 y A24 y el mineral de hierro crudos aptos por la misma razón que la arcilla A25.

Sólo son utilizables por tanto las arcillas de A21, A22 y A23.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) ARRENDONDO, F.; SORIA, F. (1983). Estudio de Materiales. TOMO I. Servicio de Publicaciones. Revista de Obras Públicas. 509 pp.
- 2) AYALA, F. J.; APARICIO, V. (1988). Atlas del medio físico de la ciudad de Burgos y su marco provincial. I.T.G.M.E., 240 pp.
- 3) BERTON, Y.; LE BERRE, P. (1983). Guide de prospection des matériaux de carrière. Bureau de recherches géologiques et minières. Manuels et méthodes. N° 5.
- 4) ESCAPA, E. (1992). Anuario de Castilla-León 1992. Ámbito Ediciones, S.A., 512 pp.
- 5) GADEA SAINZ, J. (1993). Estudio de las materias primas de la Provincia de Burgos utilizadas en la fabricación de Materiales de Construcción. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Valladolid, 489 pp.
- 6) GARCÍA CALLEJA, M. A. (1991). Estudio petrológico y geoquímico de materias primas de la Cuenca de Madrid para su uso en la industria cementera. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, 463 pp.
- 7) LABAHN, O.; KOHLAAS, B. (1985). Prontuario del Cemento. Editores Técnicos Asociados, S.A., 1015 pp.
- 8) NORMA UNE 80-302-91 (IM). Cementos. Especificaciones químicas para sus componentes.
- 9) SORIA, F. (1986). La fabricación de clinker de cemento Portland. Curso sobre Materias Primas para la Obra Pública. Gabinete de Formación y Documentación, CEDEX.

Cuando sus ventas van muy lejos...



MAPFRE asegura su crédito

Seguros de Crédito Interno y Crédito a la Exportación.

Evitará pérdidas y ganará en calidad de gestión.



MAPFRE
CAUCION Y CREDITO

INGENIERIA CIVIL



- Agronomía
- Obras Hidráulicas
- Ingeniería Sanitaria
- Estudios y Proyectos Medioambientales
- Ingeniería de Costas
- Ordenación del Territorio y Desarrollo Regional
- Geología y Minería
- Ingeniería del Transporte



INFORMES Y PROYECTOS, S.A.,
es una empresa de Ingeniería y Consultoría
con más de 25 años de experiencia en los campos
de la Ingeniería Civil, Industrial, de Recursos
Naturales y de Tratamiento de Residuos.

General Díaz Portier, 49 - 28001 MADRID Tel. (91) 402 55 04 - 402 56 12 Fax (91) 402 13 91
Plaza Fernando Leizaola, 33 - 08023 BARCELONA Tel. (93) 415 00 17 Fax (93) 218 66 35
DELEGACIONES EN: SEVILLA, ZARAGOZA, GIJÓN, GALICIA, MURCIA Y VALENCIA

