

*Dosificación de los Materiales Crudos
y Empleo de Escoria
en la Fabricación del Cemento Portland*

T E S I S

Que presenta para su examen
profesional de Químico

JOSE CRUZ MEZA GOMEZ

MEXICO, D. F.
1945



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis queridos Padres,

J. CRUZ MEZA SALAZAR

Y

AMALIA G. DE MEZA

con todo respeto.

A mis hermanos

MA. TERESA, HERIBERTO Y ADELINA

A mi querida esposa
MA. DEL PILAR L. DE MEZA
con todo cariño.

A mis hijos
MA. DEL PILAR Y JOSE LUIS

A cada uno de mis maestros con
mi sincero agradecimiento.

AL Sr. Ing. Dn. **FEDERICO GARCIA CUELLAR**
Gerente de la Cía. Mex. de Cemento Portland "Apaxco" S.A.

A mis compañeros
y amigos.

HONORABLE JURADO.

La presente tesis que pongo a vuestro juicio cumpliendo con el reglamento que marca la Ley Universitaria, solamente contiene una serie de experiencias, obtenidas durante el desarrollo de este trabajo en el Laboratorio de la Cia. Mex. de Cemento Portland "Apasco" S.A., aprovechando las acertadas intervenciones del profesor Ing. Manuel Dondé G.

Desde luego no apporto grandes conocimientos, sin embargo, con mucho entusiasmo he dedicado todo mi tiempo aplicando los conocimientos adquiridos, para la confección de este trabajo.

Respetuosamente.

José Cruz Meza Gómez.

HONORABLE JURADO.

La presente tesis que pongo a vuestro juicio cumpliendo con el reglamento que marca la Ley Universitaria, solamente contiene una serie de experiencias, obtenidas durante el desarrollo de este trabajo en el Laboratorio de la Cia. Mex. de Cemento Portland "Apasco" S.A., aprovechando las acertadas intervenciones del profesor Ing. Manuel Dondé G.

Desde luego no apporto grandes conocimientos, sin embargo, con mucho entusiasmo he dedicado todo mi tiempo aplicando los conocimientos adquiridos, para la confección de este trabajo.

Respetuosamente.

José Cruz Meza Gómez.

DOSIFICACION DE LOS MATERIALES CRUDOS Y EMPLEO DE ESCORIA EN LA FABRICACION DE CEMENTO PORTLAND

CAPITULOS

I.—GENERALIDADES.

II.—DOSIFICACION DE LA MATERIA PRIMA.

- a) Indice de Cementación.
- b) Análisis.
- c) Dosificación de una Marga.
- d) Dosificación de una Piedra Caliza.

III.—EMPLEO DE LA ESCORIA COMO MATERIA PRIMA.

- a) Módulos.
- b) Cálculo del por ciento de Fe_2O_3 .
- c) Dosificación con Escoria.

IV. VENTAJAS DEL USO DE LA ESCORIA.

- a) Químicas.
- b) Físicas.
- c) Técnico-Económicas.

V. CONCLUSIONES.

FORMULAS ABREVIADAS.

En el curso de esta Tesis han sido empleadas las siguientes fórmulas abreviadas.

C_1AF	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	Ferro-aluminato tetracálcico.
C_3S	$3CaO.SiO_2$	Silicato tri-cálcico.
C_2S	$2CaO.SiO_2$	Silicato di-cálcico.
C_3A	$3CaO.Al_2O_3$	Aluminato dicálcico.
C_2F	$2CaO.Fe_2O_3$	Ferrito dicálcico.
C_2A	$2CaO.Al_2O_3$	Aluminato dicálcico.

CAPITULO I

GENERALIDADES

Considerando este trabajo como una pequeña contribución al mejoramiento sobre la Calidad y producción del Cemento Portland y creyendo haber obtenido resultados positivos, me permito exponerlo ante el H. Jurado el obtenido en largas y diferentes observaciones efectuadas en el Laboratorio de la Cía. Mex. de Cemento Portland "Apasco", S. A.

La tendencia moderna de la fabricación del cemento Portland es la de obtener un producto de altas resistencias con el mayor grado de finura.

Para satisfacer las exigencias del consumidor, que desea en sus trabajos generales el usar mayor cantidad de agregados inertes (grava, arena, etc.) y el menor porcentaje posible de cemento, se hace necesario el obtener un producto que no solamente iguale a las especificaciones Nacionales sino sobrepasarlas para obtener un amplio margen de seguridad para el consumidor.

Al producir un cemento que tenga un amplio margen de seguridad es de capital importancia la introducción de numerosas modificaciones, desde varios puntos de vista en la fabricación del cemento Portland, siendo las modificaciones desde el punto de vista químico, las más importantes en este estudio, por ser las éstas de las que dependen las propiedades de la alta calidad del cemento Portland, sin pasar desapercibidas las modificaciones desde el punto de vista físico-mecánicas que son posibles de controlar en lo absoluto y que se describirán por conveniente de una manera somera.

Las modificaciones desde el punto de vista Físico-mecánico son:

- a) Grado de finura.

El grado de finura de las moliendas tanto del material crudo como del cemento está ligado con una buena resistencia, ya que el material, por su mayor finura, presenta mayor superficie de contacto, originando una rápida resistencia en los morteros y concretos.

Respecto al material crudo, el grado de finura está en razón directa de un incremento de producción y de una economía de combustible al verificarse la calcinación en el horno, debido a que la alta finura permite la unión mecánica íntima del material ácido (Barro) y básicos (piedra caliza).

b). Homogeneidad de los materiales.

Por lo que se refiere a la homogeneidad de los materiales es un factor interesante al conservar siempre la uniformidad en la dosificación de los materiales crudos, pues significa una economía en el combustible, calidad del producto obtenido en la calcinación, además evita la formación de anillos y bolas. Para obtener la homogeneización de los materiales se usan máquinas mezcladoras especiales.

En este estudio partimos de la condición de que la finura y homogeneidad permanecen constantes, es decir, controlables.

Modificaciones Químicas

Las modificaciones químicas que nos ocupan en este estudio es uno de los puntos más delicados, pues se había observado que con una dosificación incorrecta se obtenía un producto de mala calidad y que con dificultad cumplía las especificaciones Nacionales respecto a las resistencias y superficie específica.

Se buscó entonces la dosificación debida para obtener un producto que cumpliera satisfactoriamente con dichas especificaciones.

Estas modificaciones vinieron acompañadas de varios problemas técnico-económicos, que se presentaron en la calcinación al obtenerse muestras de clinker con un porcentaje del 60.0 % de estabilidad buena al ser más difícil la calcinación por la elevación de los silicatos tricálcicos que necesitan una elevada temperatura para su formación dando como resultado una pérdida en la producción y mayor consumo de combustible.

Todos estos problemas técnico-económicos se resolvieron con la introducción de la escoria como parte integrante de la dosificación química de los materiales crudos.

CAPITULO II

DOSIFICACION DE LA MATERIA PRIMA

a).--Índice de Cementación.

La dosificación de las materias primas es el primer factor para la buena calidad del cemento portland, que es el grado de precisión en que los compuestos químicos, de la mezcla mecánica, alcanza los límites teóricamente accesibles y tiene por objeto el proporcionar el medio por el cual puede ser calculada la dosis máxima de CaO combinable en cada caso con óxidos ácidos durante la calcinación.

De estas fórmulas teóricas la más aceptable desde el punto de vista práctico es la fórmula propuesta por Eckel denominada Índice de Cementación:

$$\frac{(2.8 \times \% \text{SiO}_2) + (1.1 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) + (0.7 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)}{\% \text{CaO} + 1.4 \times \% \text{MgO}} = 1$$

De la anterior fórmula, la fabricación del cemento desde el punto de vista químico debe ser de neutralización y obtener un cemento cuyo Índice de Cementación se halle al lado de la seguridad, es decir, superior a la unidad, pero siempre en un pequeño exceso.

Esta fórmula, para calcular la dosificación de la materia prima, se funda en la suposición de que el cemento que alcanza un máximo grado de basicidad contiene los compuestos 3CaOSiO_2 , $2\text{CaOAl}_2\text{O}_3$, $2\text{CaOFe}_2\text{O}_3$, afirmando también que la MgO combinada puede substituir a la CaO , en los compuestos integrantes del cemento.

Los factores para el cálculo de la fórmula se obtienen, por las relaciones moleculares de los siguientes compuestos.

3CaOSiO_2	$2\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	$1\text{CaOFe}_2\text{O}_3$	
3CaO	2CaO	2CaO	CaO
$\frac{\text{---}}{\text{---}} = 2.8$	$\frac{\text{---}}{\text{---}} = 1.1$	$\frac{\text{---}}{\text{---}} = 0.7$	$\frac{\text{---}}{\text{---}} = 1.4$
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO

Para su aplicación las clasificaciones químicas de los materiales crudos verifiqué los estudios de los análisis químicos de las diferentes canteras y bancos de barro existentes en la planta de Apaxco.

b). ANALISIS QUIMICOS

Las diferentes canteras de piedra caliza y bancos de material silíceo existentes en la Fábrica se han clasificado, tomando en cuenta, la riqueza en CaCO_3 y SiO_2 respectivamente, para de esta manera, obtener un control más exacto.

Las muestras representativas de piedra caliza o barro se muelen a una finura de 200 mallas y se ponen a secar a 110°C hasta su completa desecación, efectuándose después los análisis siguiendo la técnica apropiada.

1) Determinación de SiO_2

Se pesa en un crisol de platino 500 mg de la substancia desecada, se añaden 3 grs. de Na_2CO_3 y 1 gramo de K_2CO_3 (anhidros), se funde y se precipita el Acido Silíceo de la masa resultante de la fusión con agua y ácido clorhídrico concentrado, hecho lo cual, se cubre la cápsula y se pone a digerir durante 10 minutos en una parrilla a calor suave; después se pone a baño de maría para la evaporación, hasta que queda un polvo seco, se le humedece después con ácido clorhídrico concentrado y se deja cubierto en reposo a la temperatura ordinaria durante 10 ó 20 minutos para convertirlo otra vez en cloruros las sales básicas formados al evaporar a sequedad. Se agregan 100 c.c. de agua, se hierve, se deja depositar el ácido silíceo y se procede a filtrar lavando el precipitado por decantación dos o tres veces en agua caliente, se le echa en el filtro y se lava con agua acidulada con HCl caliente, hasta que desaparezca la coloración amarilla proveniente de la sal fénica

básica. Se conserva el residuo y se evapora el filtrado otra vez hasta su sequedad, se lleva el residuo a una estufa de temperatura de 105° - 110° C y se deja una hora. Se añaden al residuo 10 cc. de HCl 1:1 y se calienta en una parrilla. Se diluye la solución con un volumen igual de agua caliente; se recoge y lava la pequeña cantidad de SiO_2 que hubiere en el papel filtro. El filtrado (1) se conserva para la precipitación de los Fe_2O_3 y Al_2O_3 . Se llevan los dos filtros a un crisol de platino tarado, se seca y se quema los filtros a calor suave hasta que se consume el papel filtro y finalmente a una temperatura de 1050° - 1100° C. hasta conseguir un peso constante.

Para purificar la sílice obtenida se trata con unas gotas de agua y 10 cc. de HF. y una gota de ácido sulfúrico, se evapora cuidadosamente a sequedad. Finalmente se calienta el pequeño residuo a la temperatura de 1100° C por unos dos minutos, se enfría y se pesa la diferencia entre este peso y el anterior representan la cantidad de SiO_2 . El segundo peso se considera como óxidos de hierro y aluminio mezclados y debe añadirse al resultado obtenido en la determinación anterior de los óxidos de Fe y Al.

2. Determinación de los Óxidos de Hierro y Aluminio

Al filtrado (1) proveniente de la filtración de la SiO_2 se completa a un volumen de 250 cc., se calienta a ebullición y se neutraliza con NH_4OH (exento de CO_2) gota a gota agregando un ligero exceso y agitando continuamente, con lo que se precipitan los hidróxidos de Fe y Al. Se hierve durante unos tres minutos, se deja asentar el precipitado y se filtra, recibiendo el filtrado (2) en un vaso de 600 cc.

El papel filtro con el precipitado se traslada al mismo vaso en donde se efectuó la primera precipitación. Se disuelven los hidróxidos en una solución caliente de HCl, se completa la solución a unos 100 cc. con agua. Se calienta y cuando principia la ebullición se neutraliza con NH_4OH con lo que precipita nuevamente los hidróxidos de Fe y Al. Se hierve durante unos tres minutos, se filtra, recibiendo este filtrado en el vaso de 600 cc. que contiene el primer filtrado (2). El precipitado se lava con una solución caliente de NH_4NO_3 al 2 % y con agua caliente.

Los hidróxidos se calientan poco a poco hasta la completa carbonización de los papeles filtros y se calcinan después hasta peso constante, y se dan los cálculos en tantos por ciento de Fe_2O_3 .

3.—Determinación del Oxido de Aluminio

Para obtener la cantidad de Oxido de Aluminio se resta al total de los óxidos de Al y Fe determinados anteriormente, el contenido de Oxido de Fierro.

4.—Determinación de Oxido de Fierro

Se funde 1 gr. de material que se analiza, se procede como anteriormente, hasta obtener los hidroxidos de Fierro y Aluminio.

Se disuelven los hidroxidos en una solución caliente de HCl, se completa la solución a unos 100 cc., se lleva a la ebullición durante unos tres minutos. A la solución se le agregan una solución de SnCl_2 gota a gota para efectuar la reducción del Fe_2O_3 a sal ferrosa, se agita constantemente hasta la decoloración completa del líquido, se agrega una gota en exceso, se deja enfriar y se añaden 10 cc. de una solución concentrada de HgCl_2 y 20 cc. de la siguiente solución.

65 gr. de Sulfato Manganeso disueltos en 500 cc. de agua.

120 cc. de Acido Fosfórico (d 1.7)

120 cc. de Acido Sulfúrico (D 1.84)

Todo lo anterior diluido hasta completar 1000 cc.

Añadiendo los 25 cc. de esta solución se agita y se titula con solución de KMnO_4 hasta color rosado.

Se calcula el resultado como Fe_2O_3 en partes por ciento.

El método oficial para la determinación del Fe_2O_3 es el siguiente:

Reactivos.

Mezcla de ácidos fosfórico y sulfúrico. Se agrega lentamente y mientras se agita, 150 cc. de ácido fosfórico (d=1.7) y 150 cc. de H_2SO_4 (d=1.84 a 500 cc. de agua, y después se diluye esta mezcla con agua hasta completar 1000 cc.

Indicador. Se disuelven un gramo de difenilamina en 100 cc. Se determina el título de la solución empleando limaduras de fierro q.p. en la misma forma indicada en el procedimiento anterior.

Las soluciones de cloruro estanoso y cloruro mercurico son las mismas empleadas en el anterior método.

Procedimiento. Se procede de la misma manera hasta obtener la reducción de la sal férrica a ferrosa por medio del cloruro estanoso, después de fría la solución se añaden 10 cc. de solución saturada de HgCl_2 , se agita la solución por un minuto, se agrega a la solución 15 cc. de la mezcla de ácido sulfúrico y fosfórico junto con tres gotas de indicador

de difenilamina, y se diluye hasta 150 cc. con agua fría. Se hace la titulación con solución tipo de $K_2Cr_2O_7$ (equivalente a 0.004 gramos de óxido férrico por cc.) El punto final se logra cuando una gota de solución causa una intensa coloración azul que permanece constante.

5.- Determinación de Oxido de Calcio

El filtrado (2) contenido en el vaso de 600 cc. se calienta a ebullición agregando 1.5 gr. de Oxalato de Amonio sólido, la CaO precipita en forma de oxalato de calcio, se deja hervir durante unos 10 minutos más, despues de los cuales, se continúa el calentamiento a calor suave, con lo que se asienta el precipitado. Se retira del calor y se dejan 10 min. en reposo, para que termine el asentamiento. Se filtra y se lava el precipitado por decantación con agua caliente dos o tres veces pasando el precipitado al filtro, se lava con agua caliente, sin que exceda de 75 cc. la cantidad total de agua empleada en lavar el vaso y el precipitado. Se conservan las aguas del filtrado junto con el filtrado (3) para la determinación del óxido de magnesio. Se pasa el precipitado al filtro, se lava con agua caliente, sin que exceda de 75 cc. la cantidad total de agua empleada en lavar el vaso y el precipitado. Se conservan las aguas del filtrado junto con el filtrado (3) para la determinación del óxido de magnesio. Se pasa el precipitado junto con el papel filtro al mismo vaso de 600 cc. en el que se han puesto unos 100 cc. de agua fría con 10 cc. de H_2SO_4 concentrado y agua caliente hasta completar un volumen de 300 cc.; se calienta a unos 80° y se titula con una solución de $KMnO_4$ 0.18 Normal hasta que la coloración rosada sea permanente, se baja el papel filtro y se termina la titulación.

El resultado se calcula como CaO en partes por ciento.

6. Determinacion del Oxido de Magnesio

El filtrado (3) anterior junto con las aguas de lavado se acidulan, se concentran por evaporación a un volumen aproximadamente de 150 cc. Se agrega 10 cc. de una solución de fosfato diamónico (25 grs. de $(NH_4)_2HPO_4$ en 100 cc. de agua) se enfría colocando el vaso en agua helada. Una vez la solución fría se agrega gota a gota y agitando constantemente amoníaco hasta que el fosfato amónico magnesiaco cristalice; entonces se agrega un exceso moderado de amoníaco continuándose la agitación por unos minutos. Se deja reposar durante unas ocho horas en lugar fresco, filtrándose después. Se redisuelve el precipitado

obtenido en HCl diluido y caliente: se diluye la solución a 100 cc. y se agrega después 1 cc. de fosfato diamónico y amoníaco gota a gota; se agita constantemente hasta que empiece a formarse el precipitado, se añade después el amoníaco en exceso moderado. Se enfría y se deja reposar por dos horas y se filtra. Se lava el precipitado con solución de Nitrato de Amonio (Se disuelven 100 grs. de NH_4NO_3 en 800 cc. de agua, se agrega 200 cc. de NH_4OH). Se calcina procurando previamente carbonizar el papel filtro a baja temperatura y subiendo la temperatura después a $1100^\circ\text{--}1200^\circ\text{C}$ y se pesa en estado de $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$; calculándose después como MgO multiplicando por el factor 0.724.

7.—Determinación de la Pérdida por Calcinación

En un crisol de platino tarado y cubierto, se pesa un gramo de material y se calienta por espacio de 15 minutos a una temperatura de 900 a 1000°C . Se deja enfriar en un secader y se pesa; se comprueba la pérdida en peso por un segundo calentamiento por 5 minutos. La diferencia de peso registrará la pérdida por calcinación.

8.—Determinación de anhídrido sulfurico

A un gramo de substancia se le agregan 10 c.c. de HCl y se diluye con agua hasta completar un volumen de 50 cc., se hierve filtrándose en seguida, procurando lavar el precipitado con agua caliente, el filtrado se diluye con agua hasta completar un volumen de 300 cc., después 4 ó 5 gotas de Agua de Bromo se lleva a la ebullición unos dos minutos, agregándosele 10 cc. de BaCl_2 al 10 %, se deja hervir durante 15 minutos, se deja reposar y se filtra lavando el precipitado con solución diluida de HCl y después con agua caliente, se calcina y se pesa como BaSO_4 , calculándose como SO_3 . Una vez obtenidos los datos analíticos de los materiales (piedra caliza y barro) obtenidos en los análisis químicos son los siguientes:

ANALISIS QUIMICOS

Localidad	Frente	Materia	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ign.	Total	Pureza
Cantera No. 1	1	Marga	13.40	3.00	3.00	45.00	0.40	0.10	34.00	99.40	81.50
	2	Marga	14.00	4.00	2.40	42.60	0.80	0.20	35.70	99.70	76.00
	3	Marga	12.80	4.00	3.00	44.00	0.60	0.10	35.00	99.50	78.57
		Prom. Gral	13.40	3.60	2.80	44.03	0.60	0.10	34.90	99.43	78.63
Cantera No. 2	1	P. Caliza	3.10	2.00	0.50	53.20	0.90	0.20	39.90	99.80	95.00
	2	P. Caliza	3.50	1.10	0.50	52.50	0.60	0.30	41.30	99.70	93.50
	3	P. Caliza	8.40	4.00	1.30	50.00	0.90	0.10	35.00	99.70	89.28
		Prom. Gral.	5.90	2.50	0.90	51.00	0.75	0.20	38.10	99.35	91.00
Banco No. 1	1	Barro	49.20	15.40	3.80	9.20	1.30	0.06	20.60	99.56	
	2	Barro	51.00	20.30	4.40	3.80	1.40	0.10	18.60	99.60	
	3	Barro	51.00	16.10	4.00	7.00	1.20	0.10	20.00	99.30	
		Prom. Gral.	50.40	17.23	4.07	7.00	1.30	0.07	19.40	99.47	

Las canteras de la planta se clasificaron en dos, tomando en cuenta la calidad de cada una de ellas.

Poseyendo la Cantera No. 1 una Marga Caliza que es un material pobre en CaCO_3 que varía entre 75.0 a 80.0 %, pero de magnífica calidad para fabricación del cemento portland por tener una composición parecida al material crudo desulficado.

La Cantera No. 2 posee una Piedra Caliza con un alto contenido de CaCO_3 y con una mayor dureza que la marga.

Ambas canteras se dividieron en tres frentes, siendo éstos de casi igual composición en cada una de ellas; permitiendo una explotación con un igual porcentaje en los frentes de cada cantera, obteniéndose de esta manera una muestra de promedio general en que los resultados analíticos difieren en muy poco con el promedio aritmético de los tres frentes de su respectiva cantera.

En el banco de barro en explotación se procedió en igual forma la clasificación.

c). DOSIFICACION DE UNA MARGA CALIZA

Aplicando la fórmula de dosificación propuesta por Eckel para encontrar la composición del material crudo apropiado se tiene que:

En la Marga caliza.

CaO aprovechable en la marga caliza		
CaO		44.03
CaO del MgO que substituye a la CaO	1.4×0.6	0.84
CaO total existente en la marga caliza		44.87

Pero existiendo óxidos ácidos en la marga se requieren óxidos básicos para su neutralización de aquí que la CaO necesaria para los óxidos de la marga es de:

CaO necesaria para la SiO_2	13.40×2.8	37.50
CaO necesaria para la Al_2O_3	3.60×1.1	3.96
CaO necesaria para el Fe_2O_3	2.80×0.7	1.96

CaO necesaria para los óxidos ácidos de la marga		43.42
CaO aprovechable para la combinación de los óxidos ácidos existentes en el material arcilloso (barro)	$44.87 - 43.42$	Partes, 1.45

EN EL BARRO

CaO necesaria que necesitan los óxidos ácidos existentes en el barro		
CaO necesaria para la SiO_2	50.40×2.8	141.00
CaO necesaria para la Al_2O_3	17.23×1.1	18.95
CaO necesaria para el Fe_2O_3	4.07×0.70	2.89

CaO total necesaria para los óxidos ácidos.	162.79
---	--------

Deduciendo la CaO y el MgO contenidos en el barro que funcionan como óxidos básicos

CaO en el barro		7.00
CaO del MgO en el barro	1.3×1.4	1.82
CaO contenida en el barro		8.82

De donde la CaO necesaria para los compuestos del barro es de:

$162.79 - 8.82$	154.0 Partes.
-----------------	---------------

En la piedra caliza hay 1.45 partes de CaO aprovechable de aquí que:
 100 partes de barro contienen 154.0×100 10,600 Partes de Marga

1.45

De donde el porcentaje requerido es de:

99.0 % de Marga
1.0 % de Barro.

CALCULO DE LA GUIA PARA EL PORCENTAJE DE CaCO_3 DEL MATERIAL CRUDO PREPARADO

100 Partes de barro contienen		7.00 de CaCO_3
10600 Partes de marga contienen	77.5×10600	821.00 de CaCO_3

100

10700 Partes de mezcla contienen	828.00 de CaCO_3
----------------------------------	---------------------------

GUIA CALCULADA EN LA DOSIFICACION $828. \times 100$ 77.0% de CaCO_3

10700

Con esta guia en el material crudo se obtuvieron los siguientes resultados:

Composición	Material Crudo calculado	Material Crudo obtenido	Diferencia	Clinker.
SiO ₂	13.50 %	14.00 %	0.50 %	22.90 %
Al ₂ O ₃	3.65	3.50	0.15	4.96
Fe ₂ O ₃	2.65	2.50	0.15	2.70
CaO	44.40	44.80	0.40	67.50
MgO	0.72	0.70	0.02	1.20
SO ₃	0.10	0.10	0.00	0.14
Ign.	34.50	34.00	0.50	0.30
Total	99.52	99.60		99.70
Guía de CaCO ₃	77.00	77.20	0.20	
CaO libre ...	—	—	—	2.50

Estas pequeñas diferencias de los distintos porcentajes son debidas principalmente al muestreo; sin embargo, los resultados pueden tomarse como aceptables. El material crudo es calculado por medio de una operación aritmética tomando los porcentajes dados por la clasificación química, es decir tomando el 99.0 % de marga y el 1.0 % de barro.

Es de notarse que la composición del material crudo obtenido después de la homogenización tiene una pequeña diferencia con la composición de la marga caliza, siendo esta una gran ventaja para la homogenización, ya que con el menor esfuerzo mecánico se obtiene un material uniforme desde el punto de vista químico por ser la composición de la marga parecida a la del cemento Portland y tener sus partículas intimamente ligadas. Es decir los materiales de las canteras que tengan una composición parecida a la del material crudo del cemento ya está efectuada la combinación química de sus compuestos, en cambio en la de los otros materiales que tienen diferente composición, se efectúa solamente una mezcla mecánica por medio de la molenda.

En el siguiente estudio comparativo se observan las diferentes propiedades físico-químicas examinadas cuando se obtiene un material crudo con un porcentaje de CaCO₃ que no concuerda con la guía de CaCO₃ requerida por la clasificación esto es causado por diferentes causas tales como una homogenización deficiente o por cualquier otra causa mecánica, que motive una alteración en la guía de CaCO₃ del material crudo, obteniéndose por esta causa una deficiencia anormal.

Estudio comparativo del Cemento obtenido con una deficiencia anormal producida por desperfectos mecánicos en la homogenización.

Composición	Material Crudo calculado	Material Crudo obtenido	Diferencia	Clinker.
SiO ₂	13.50 %	14.00 %	0.50 %	22.90 %
Al ₂ O ₃	3.65	3.50	0.15	4.96
Fe ₂ O ₃	2.65	2.50	0.15	2.70
CaO	44.40	44.80	0.40	67.50
MgO	0.72	0.70	0.02	1.20
SO ₃	0.10	0.10	0.00	0.14
Ign.	34.50	34.00	0.50	0.30
Total	99.52	99.60		99.70
Guía de CaCO ₃	77.00	77.20	0.20	
CaO libre ...				2.50

Estas pequeñas diferencias de los distintos porcentajes son debidas principalmente al muestreo; sin embargo, los resultados pueden tomarse como aceptables. El material crudo es calculado por medio de una operación aritmética tomando los porcentajes dados por la dosificación química, es decir tomando el 99.0 % de marca y el 1.0 % de barro.

Es de notarse que la composición del material crudo obtenido después de la homogenización tiene una pequeña diferencia con la composición de la marca caliza, siendo esta una gran ventaja para la homogenización, ya que con el menor esfuerzo mecánico se obtiene un material uniforme desde el punto de vista químico por ser la composición de la marca parecida a la del cemento Portland y tener sus partículas íntimamente ligadas. Es decir los materiales de las canteras que tengan una composición parecida a la del material crudo del cemento ya está efectuada la combinación química de sus compuestos, en cambio en la de los otros materiales que tienen diferente composición, se efectúa solamente una mezcla mecánica por medio de la molienda.

En el siguiente estudio comparativo se observan las diferentes propiedades físico-químicas, ocasionadas cuando se obtiene un material crudo con un porcentaje de CaCO₃ que no concuerda con la guía de CaCO₃ requerida por la dosificación esto es ocasionado por diferentes causas tales como una homogenización deficiente o por cualquier otra causa mecánica, que motive una alteración en la guía de CaCO₃ del material crudo, obteniéndose por estas causas una dosificación anormal.

Estudio comparativo del Cemento obtenido con una dosificación anormal producida por desperfectos mecánicos en la homogenización.

COMPOSICION	DOSIFICACION NORMAL	DOSIFICACION ANORMAL
SiO ₂	22.70 %	24.10 %
Al ₂ O ₃	4.90	6.30
Fe ₂ O ₃	2.60	1.90
CaO	65.00	62.20
Mgo	1.10	1.60
SO ₃	2.00	2.00
Pérdida por Ign.	1.40	1.30
Total	99.70 %	99.40 %

COMPUESTOS.

CaSO ₄	3.40 %	3.40 %
C ₃ A.	8.60	13.46
CaO Libre	2.40	1.35
C ₄ A.F.	7.90	5.77
C ₂ S	34.90	54.64
C ₃ S	40.00	13.88
Total	97.20 %	96.50 %

RAZONES.

Indice de Cementación	1.05 %	1.18 %
SiO ₂ / Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	3.00	2.96
Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃ /	1.88	3.26

ENSAYOS FISICOS

Finura en 200 Mallas.....	89.00 %	80.00 %
Fraguado Inicial	3. H.	4. H.
Fraguado Final	6. H.	8. H.
Expansión en mm.	1.00	0.50
% de muestras de cemento estable	90.00	95.00
Tons. por hora	4.00	3.500

RESISTENCIA A LA TENSION EN KG/cm².

24.---Horas	16.15	10.00
3.---Días	19.20	13.00

7.—Días	24.15	17.00
28.—Días	30.20	24.00
3.—Meses	32.15	29.15
6.—Meses	33.80	30.35
1.—Año.	32.50	29.09

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN KG./cm².

24.—Horas	50.0	30.00
3.—Días	75.00	46.00
7.—Días	150.00	100.00
28.—Días	212.00	150.00
3.—Meses	250.00	200.00
6.—Meses	260.00	208.00
1.—Año	260.00	200.00

Al obtenerse un cemento con una saturación de CaO para obtener su Índice de Cementación un poco superior a la unidad (1.05); se obtiene las siguientes propiedades que lo hacen diferente al cemento que no sigue la fórmula propuesta por Eckel.

1.—El silicato tricálcico es superior al silicato dicálcico.

a).—Se obtiene un aumento considerable en las resistencias a la tensión y compresión, como puede verse en los resultados obtenidos de la comparación anterior, que es aproximadamente de un 50 %.

b).—La finura. La finura aumenta sin bajar el rendimiento de la producción de la molienda. La finura es uno de los factores de mayor importancia que influye en las resistencias del cemento portland, por ser mayor la superficie de contacto que presentan las partículas de cemento, cuando el cemento es grueso la superficie de contacto es mucho menor. Mas aun un cemento finamente molido alcanza sus resistencias finales mucho más pronto que un cemento molido en forma tosca según se observa por los resultados obtenidos.

c).—El Fraguado.

El fraguado inicial y el final cuando se determina con agujas Gillmore son más rápidos que en el cemento que no sigue la fórmula de Eckel.

2.—Desventajas que se obtienen cuando los silicatos tricálcicos son mayores que los silicatos dicálcicos.

a).—CaO Libre.

Se tiene mayor porcentaje de CaO libre, esto es consecuencia siguiente a que el clinker es difícil de calcinar por su alta dosificación de CaO y es fácil de tener CaO libre.

b).—Expansión de Le Chatelier.

La expansión de Le Chatelier es de un porcentaje mayor, esto es debido igualmente a las mismas anomalías que se presentan en la calcinación por la alta dosificación de CaO.

d). DOSIFICACION DE UNA PIEDRA CALIZA

Se parte de una muestra representativa de todos los frentes de las canteras y del barro, que tienen las siguientes composiciones.

COMPOSICION	PIEDRA CALIZA	BARRO NEGRO
SiO ₂	7.71 %	50.40 %
Al ₂ O ₃	2.80	17.23
Fe ₂ O ₃	1.43	4.07
CaO	49.40	7.00
MgO	0.90	1.30
SO ₃	0.20	0.07
Pérdida por Ign.	37.20	19.40
CaCO ₃	88.00%	7.00%
Total	99.64%	99.47%

Aplicando la fórmula de dosificación propuesta por Eckel para encontrar la composición del material crudo apropiado se tiene:

EN LA PIEDRA CALIZA

CaO aprovechable en la piedra caliza.		
CaO		49.40
CaO del MgO que sustituye a la CaO.	1.4 x 0.90	1.26
CaO total existente en la piedra caliza		50.66

Pero existiendo óxidos ácidos en las composiciones de la P. Caliza que requieren óxidos básicos para su neutralización de aquí que:

CaO necesaria para la SiO_2	2.8 x 7.71	21.60
CaO necesaria para el Al_2O_3	1.1 x 2.8	3.08
CaO necesaria para el Fe_2O_3	0.7 x 0.43	1.01

CaO total necesaria para los óxidos ácidos 25.69

CaO aprovechable para la combinación con los óxidos ácidos existentes en el material arcilloso (barro) 50.66 - 25.69 25.0 Partes.

EN EL BARRO

CaO necesaria que necesitan los óxidos ácidos existentes en el barro.		
CaO necesaria para la SiO_2	50.40 x 2.8	141.00
CaO necesaria para la Al_2O_3	17.23 x 1.1	18.95
CaO necesaria para el Fe_2O_3	4.07 x 0.7	2.89

CaO necesaria para los óxidos ácidos 162.79

Deduciendo la CaO y el MgO contenidos en el Barro por ser óxidos básicos.

CaO en el barro 7.00

CaO del MgO en el barro 1.30 x 1.40 1.82

CaO total contenida en el barro 8.82

CaO para los compuestos del barro 162.79 - 8.82 154.0 Partes.

En la piedra caliza hay 25 partes de CaO aprovechable, de aquí que:

100 partes de barro contienen 154.0 x 100
615 Partes.

25

De donde el porcentaje requerido es de: 86.0 % de P. Caliza

14.0 % de Barro.

CALCULO DE LA GUIA PARA EL PORCENTAJE DE CaCO_3 DEL MATERIAL CRUDO PREPARADO

100 Partes de barro contienen 7.0 % de CaCO_3

615 Partes de piedra caliza contienen 615.0 x 88.0 540.0 % de CaCO_3

100

715 Partes de mezcla contienen 547.0 % de CaCO_3

GUIA DE CaCO_3 CALCULADA EN LA DOSIFICACION

547 x 100

76.5 % de CaCO_3

715

Si se comprueba constantemente en el material crudo la verificación de esta guía se está seguro que la dosificación calculada está siempre correcta con el máximo porcentaje de CaO combinable.

Al calcular los porcentajes de los elementos contenidos en el material crudo partiendo de los porcentos de piedra caliza y barro dados por la fórmula de Eckel, se obtienen resultados más o menos aproximados con los obtenidos por la Guía de CaCO_3 .

COMPARACION DEL CLINKER PRODUCIDO POR UNA

COMPOSICION	DOSIFICACION CON PIEDRA CALIZA	DOSIFICACION CON MARGA	
	Material crudo	clinker.	clinker.
SiO_2	13.90%	22.90%	22.90%
Al_2O_3	4.50	5.80	4.96
Fe_2O_3	1.70	2.00	2.70
CaO	44.00	67.40	67.50
MgO	0.80	1.10	1.20
SO_3	0.15	0.10	0.14
Pérdida por Ign.	34.60	0.30	0.20
Total	99.65%	99.60%	99.70 %
CaO Libre		2.90%	2.50%
Indice de Cementación		1.04	1.02

ENSAYES FISICOS

Finura en 200 mallas en el material crudo	88.00%	88.00%
Tons/Hrs. material crudo.	8.500	10.00
Guía Calculada de CaCO_3	76.5 %	77.0 %
Guía obtenida de CaCO_3	76.2 %	77.2 %
P. Caliza en %	85.0 %	99.0 %
Barro en %	15.0 %	1.0 %

Producción tons./hrs.	3.400	3.700
Factor Mat. crudo	1.77	1.75
Por ciento de estabilidad de muestras de clinker	65.0 %	70.0 %
Lts. petróleo/ton. clinker	196.00	190.0

[illegible]

CaSO ₄	3.57%	3.40%
C ₃ A	10.10	8.60
C ₁ AF	6.08	7.90
CaO Libre	2.90	2.40
C ₂ S	36.00	35.00
C ₃ S	37.00	40.00
	-----	-----
Total	95.65%	97.30%

Indice de Cementación	1.05	1.05
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	3.20	3.00
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	2.55	1.88

ENSAYES FISICOS

Finura en 200 mallas	89.0 %	89.0 %
Fraguado Inicial	2 hr. 50 m.	3 hr.
Fraguado Final	5 hr. 50 m.	6 hr.
Expansión en mm.	1.5	1.0
Por ciento de estabilidad de muestras de cemento	84.0 %	90.0 %
Tons. por hora	4.00	4.00
Gravedad específica	3.00	3.10

RESISTENCIA A LA TENSION EN Kg/cm²

24.—Horas	16.85	16.15
3.—Días	18.60	19.20
7.—Días	23.40	24.15
28.—Días	31.05	30.20
3.—Meses	33.10	32.15
6.—Meses	32.90	33.80
1.—Año	32.15	32.50

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN Kg/cm²

24.—Horas	54.0	50.0
3.—Días	70.0	75.0
7.—Días	140.0	150.0
28.—Días	230.0	212.0
3.—Meses	260.0	250.0
6.—Meses	260.0	260.0
1.—Año	251.4	256.0

En la anterior comparación de las dosificaciones de los cementos se observa que:

- 1.— Que los cementos preparados con piedra caliza y con marga tienen un índice de cementación igual a 1.05.
- 2.— El % del C₄A.F. del cemento preparado con marga es superior al del cemento preparado con p. caliza, por ser superior el contenido del % de Fe₂O₃ en el material crudo que se prepara con marga.
- 3.— El C₃A. del cemento preparado con p. caliza es superior al del cemento preparado con marga, por la misma razón que la anterior.

4.—Los silicatos dicálcicos guardan la misma relación, y no así los silicatos tricálcicos, siendo menor el correspondiente al dosificado con piedra caliza.

Anomalías originadas por estas diferencias.

- a).—Mayor porcentaje de CaO libre en el cemento en el que su contenido de % de Fe_2O_3 es menor por funcionar este compuesto como fundente.
- b).—Mayor expansión de La Chatelier en el cemento en que su contenido de CaO libre es mayor.
- c).—Mayor inestabilidad del cemento en el que el contenido de CaO libre es mayor.
- d).—Menor peso específico en el cemento en que su contenido de Fe_2O_3 es menor.
- e).—Las resistencias a la tensión y compresión presentan una tendencia a la retrogresividad a los tres meses.
- f).—Una disminución en el rendimiento del horno por faltar material fundente en el cemento que se prepara con p. caliza por ser su contenido de Fe_2O_3 inferior.
- g).—Un aumento en el factor de crudo, por aumentar el tiempo que dura la transformación del material crudo a clinker, por falta de material fundente, originando un mayor desprendimiento de polvo por la chimenea.

Como en la dosificación electuana con piedra caliza es mayor el porcentaje de barro usado, esto origina una disminución en el rendimiento de los molinos de crudo para obtener el grado de finura deseado, efectuándose de esta manera la unión mecánica de las moléculas ácidas y básicas; además requiere un mayor rendimiento en la homogenización.

CAPITULO III

EMPLEO DE LA ESCORIA FERRICA COMO MATERIA PRIMA

a).—MODULOS

Kühl da el nombre de módulos a las relaciones entre los demás compuestos integrantes distintos de la CaO , es decir a las relaciones entre la sílice, la alúmina, y el óxido férrico que contienen un cemento en cuyas relaciones se usan los tantos por ciento en peso.

Para el perfeccionamiento del cemento obtenido por medio de la desulfuración y resolver todos los problemas técnico-económicos que se presentaran, fué indispensable la introducción del uso de la escoria férrica en la desulfuración de la materia prima. Me basé en las diferentes teorías expuestas por Ekekl de la neutralización de los compuestos por medio de la dosis máxima de CaO combinable en cada caso con los óxidos ácidos durante la cocción.

Y en las relaciones entre los demás compuestos integrantes distintos de la CaO , que han sido expresados por Kühl bajo la fórmula de módulos en cuyas relaciones se usan los tantos porcientos.

Además tomó en cuenta la relación que guardan las leyes entre sí, sin modificar la ley de neutralización o Índice de Cementación para obtener un beneficio en el cemento desde el punto de vista industrial, ya que con la introducción de estas leyes se permiten procesos prácticos adaptables en la industria, por ser uno de los objetos primordiales que se persiguen en la de obtener un clinker 100% estable, una economía de combustible y un incremento en la producción.

Tomando en cuenta la fórmula del Índice de Cementación.

$$\frac{(2.6 \times \% \text{ SiO}_2) + (1.1 \times \% \text{ Al}_2\text{O}_3) + (0.7 \times \% \text{ Fe}_2\text{O}_3)}{\% \text{ CaO} + 1.4 \times \text{MgO}} = 1$$

Los Módulos de Kühl.

Módulo de Sílice $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ ratio de 2.7 a 3.00

Módulo de fierro $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ ratio de 1.0 a 4.0

Índice de Actividad $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ ratio de 2.5 a 5.0

Si bien las cantidades de los diversos óxidos presentes pueden variar en límites restringidos por los módulos, los contenidos que arroja el cálculo de los diferentes compuestos integrantes del cemento permanecen en una relación constante, es decir no debe variar el Índice de Cementación.

Se parte de la siguiente dosificación sin escoria del Cemento Portland.

SiO ₂	22.70	Índice de Cementación. 1.05
Al ₂ O ₃	5.10	
Fe ₂ O ₃	2.00	
CaO	65.00	
MgO	1.20	
SO ₃	2.10	
Ign.	1.50	
Total	99.60	
CaO libre	2.90	

En la anterior dosificación hice variar en un límite los óxidos de Al₂O₃ y Fe₂O₃ para obtener los módulos especificados por Kühl sin alterar el Índice de Cementación.

El módulo de Sílice obtenido es de

$$\frac{22.70}{5.10 + 2.00} = 3.20$$

Para obtener el Módulo con los límites especificados se debe aumentar el porcentaje de Al_2O_3 o Fe_2O_3 .

Como el índice de Actividad es de 22.70

$$\frac{22.70}{5.10} = 4.45 \text{ y encontrándose}$$

ésta entre los límites.

Y tomando en cuenta que el módulo de Fierro obtenido es de 5.10

$$\frac{22.70}{5.10} = 2.55.$$

2.00

Y viendo que en esta relación se tiene un margen para aumentar el % de Fe_2O_3 para encontrarse entre los límites especificados.

Por consiguiente para obtener un producto entre los límites expresados por los módulos es necesario hacer variar el porcentaje de Fe_2O_3 por las siguientes razones.

a. Por el resultado de las relaciones de los Módulos de Kühl.

Para obtener el Módulo de Sílice especificado por Kühl es necesario aumentar el contenido de Fe_2O_3 o Al_2O_3 en la anterior dosificación. Pero por otra parte para obtener el Índice de Actividad, se observa que se puede disminuir el contenido de Al_2O_3 para obtener el índice en el dintel máximo de la especificación temperatura de Clinkerización por ser el punto de fusión de la CaO el más alto de los compuestos.

Al aumentar el porcentaje de Fe_2O_3 se abate el punto de clinkerización por tener el Fe_2O_3 un punto de fusión más bajo de todos los compuestos. No sucediendo lo mismo con un aumento del contenido de Al_2O_3 por tener éste un punto de fusión más alto que el Fe_2O_3 y además necesita más partes de CaO para su combinación que hace que aumente la dosis de CaO y su temperatura de Clinkerización.

b). CALCULOS DEL PORCENTAJE DE Fe_2O_3

Se parte de que el Índice de Actividad varía entre los límites de 2.5 a 5 (Meade).

Como se obtiene en la dosificación anterior un índice de 4.45, y como desde el punto de vista industrial conviene obtener un Índice de Ac

tividad en su límite máximo. Por lo tanto el cálculo será considerando a la CaO y a la SiO₂ constantes.

$$\frac{\text{SiO}_2}{X} = 5 \quad \frac{22.70}{X} = 5 \quad X = 22.70 \quad \frac{22.70}{5.0} = 4.55.$$

Para la nueva dosificación en que se encuentra la escoria férrea presente el porcentaje de Al₂O₃ tendrá un valor alrededor de 4.55 %.

Partiendo de este nuevo porcentaje de Al₂O₃ se puede calcular el porcentaje de Fe₂O₃ necesario en la nueva dosificación.

El Módulo de Sílice varía entre los límites de 2.7 a 3.0.

$$\frac{22.70}{5.10 + 2.00} = 3.20$$

Como este índice se excede de lo especificado y para igualarlo a los límites se aumenta el contenido de Fe₂O₃ de donde:

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + X} = 3.00 \quad \frac{22.70}{4.5 + X} = 3; \quad 22.70 = 3(4.5 + X) = 13.5 + 3X$$

$$\text{De donde } X = \frac{22.70 - 13.5}{3} = 3.07 \quad X = 3.20 \%$$

3

Para la nueva dosificación el porcentaje de Fe₂O₃ requerido será alrededor de 3.20 %.

Y además en el Módulo de Fe₂O₃ obtenido se puede disminuir el contenido de Al₂O₃ y aumentar el contenido de Fe₂O₃ y obtener el nivel mínimo de la especificación.

Por las anteriores razones el aumento del contenido de Al₂O₃ no es necesario.

De donde se deduce que para equilibrar los óxidos en el Índice de Cementación es necesario aumentar un determinado porcentaje de Fe₂O₃ y disminuir el contenido de Al₂O₃ en la anterior dosificación.

2.- El Fe₂O₃ actúa como agente fundente.

Al reemplazar partes de Al₂O₃ por Fe₂O₃ se abate la temperatura de calcinación debido a que el Fe₂O₃ tiene más bajo punto de fusión, como se puede ver en la siguiente tabla.

Oxidos	Puntos de Fusión.
SiO ₂	1750° C
Al ₂ O ₃	2050° C
Fe ₂ O ₃	1540° C
CaO	2570° C

3.— Desde el punto de vista de la neutralización Química.

Observando las relaciones que guardan entre si los óxidos en el índice de Cementación se tiene:

$$\frac{(\% \text{ SiO}_2 \times 2.8) + (1.1 \times \% \text{ Al}_2\text{O}_3) + (0.7 \times \% \text{ Fe}_2\text{O}_3)}{\% \text{ CaO} + 1.1 \times \% \text{ MgO}} = 1.04$$

Las sencillas relaciones de combinación y los pesos moleculares de la CaO, la SiO₂, la Al₂O₃ y el Fe₂O₃, ponen de manifiesto que los tantos por ciento mas altos de CaO pueden ser soportados por las mezclas altas en sílice, puesto que una parte de ella puede combinar 2.8 partes de CaO como límite máximo, mientras que una parte de alúmina sólo puede combinar 1.1 partes de CaO y una parte de Fe₂O₃ combina 0.7 partes de CaO.

En la práctica se ha visto que el cemento que tiene un módulo silíceo superior a las especificaciones se alteran sus propiedades, por lo que se hace necesario reducir el Módulo silíceo aumentando la Al₂O₃ o el Fe₂O₃ y de estos dos es preferible aumentar el Al₂O₃ y de estos dos es preferible aumentar el Fe₂O₃ porque una molécula de Fe₂O₃ se combina con 0.7 partes de CaO mientras una molécula de Al₂O₃ se combina con 1.1 partes de CaO, siendo por consiguiente este último necesita un porcentaje menor de CaO en la deshidratación para obtener la máxima combinación de CaO con los óxidos ácidos, sin alterarse por ello el Índice de Cementación por disminuir en cierta relación sus dos miembros de la igualdad.

Al disminuir la máxima deshidratación de CaO se disminuye también en cierto grado la

DIFERENTES ANALISIS DE ESCORIA FERRICA

COMPOSICION	MUESTRA No. 1	MUESTRA No. 2	MUESTRA No. 3	MUESTRA No. 4	PROMEDIO
SiO ₂	18.00%	20.00%	17.08%	20.00%	18.00%
Al ₂ O ₃	Indicios	0.58	0.15	0.18	0.40
Fe ₂ O ₃	80.00	78.15	82.00	79.65	80.20
CaO	1.60	1.06	1.15	0.80	1.50
MgO	1.30	0.72	0.34	0.20	0.70
SO ₃	-----	-----	-----	-----	-----
Ign.	-----	-----	-----	-----	-----
Total	100.90%	103.51%	100.75%	100.80%	100.80%

Todas esas muestras son de diferentes lotes provenientes de la misma fundición. Análisis de las materias primas usadas en esta dosificación.

COMPOSICION	PIEDRA CALIZA	ARCILLA	ESCORIA
SiO ₂	7.71 %	50.40 %	18.00 %
Al ₂ O ₃	2.80	17.23	0.40
Fe ₂ O ₃	1.43	4.07	80.20
CaO	49.40	7.00	1.50
MgO	0.90	1.30	0.70
SO ₃	0.20	0.07	-----
Pérdida por Ign.	37.20	19.40	-----
Total	99.64 %	99.47 %	100.80 %
CaCO ₃	88.60 %	7.00 %	-----

Partiendo del porcentaje de Fe₂O₃ contenido en la escoria férrica, calculé el porcentaje necesario que se debe agregar al material crudo.

Aplicando la Ley de Mezclas se tiene.

80.20	1.20	Partes de Escoria.
3.20		
2.00	77.00	Partes de materia cruda.
	78.20	Partes de mezcla.

Materia Cruda	98.5 %
Escoria	1.5 %

Este porcentaje de escoria férrica se agrega junto con la piedra a la Quebradora para su trituración, y se sigue todo el proceso de moliendo hasta obtenerse mezclada junto con el material crudo con una finura de 88.0% a 89.0% en 200 mallas.

Al agregar a la piedra caliza la escoria, férrica, se obtiene una mezcla de la siguiente composición.

PIEDRA CALIZA CON ESCORIA FERRICA

SiO ₂	7.80 %
Al ₂ O ₃	2.75
Fe ₂ O ₃	2.61
CaO	48.94
MgO	1.00
SO ₃	0.10
Ign.	36.60
Total	99.80 %

Obsérvese que la composición de este material es variada con relación al porcentaje de Fe₂O₃ de la piedra caliza procedente de las canteras.

DOSIFICACION DE LA PIEDRA CALIZA CON BARRO NEGRO Y CON LA ADICION DE 15 % DE ESCORIA

EN LA PIEDRA CALIZA

CaO aprovechable en la piedra caliza.

CaO		48.94
CaO del MgO que sustituye a la CaO. ..	1.4 x 1.0	1.40
CaO total existente en la piedra caliza ..		50.34
Para los óxidos ácidos de la caliza que requieren óxidos básicos para su neutralización:		
CaO necesaria para la SiO ₂ de la P. Caliza	2.8 x 7.8	21.80
CaO necesaria para la Al ₂ O ₃	1.1 x 2.65	3.00
CaO necesaria para el Fe ₂ O ₃	0.7 x 2.61	1.83
CaO necesaria para los óxidos ácidos. . . .		26.63

CaO aprovechable para los óxidos ácidos existentes en el material arcilloso 59.34-26.63 23.71 Partes.

EN EL BARRO

CaO que necesitan los óxidos ácidos existentes en el barro.		
CaO necesaria para la SiO_2	2.8 x 50.40	141.00
CaO necesaria para la Al_2O_3	1.1 x 17.23	18.96
CaO necesaria para el Fe_2O_3	0.7 x 4.07	2.88
CaO necesaria para los óxidos ácidos . .		162.79

Deduciendo la CaO y el MgO del barro que funcionan como óxidos básicos se tiene:

CaO en el barro	7.00
CaO del MgO en el barro	1.4 x 1.3
CaO total contenida en el barro	8.82
CaO necesaria para los compuestos del barro. 162.79-8.82 154.0 Partes	

En la piedra caliza hay 23.71 partes de CaO aprovechable, de aquí que:
100 partes de barro contienen 154. x 100 = 650 Partes de P. Caliza.

23.71

De donde el porcentaje
requerido es de

86.5 % de P. Caliza con Escoria F
13.5 % de Barro negro.

El porcentaje para una buena
dosificación es de

85.0 % de Piedra Caliza.
13.5 % de Barro Negro.
1.5 % de Escoria Férrica.

CALCULO DE LA GUIA PARA EL PORCENTAJE DE CaCO_3 DEL MATERIAL CRUDO PREPARADO

100 Partes de barro contienen 7.00 % de CaCO_3
650 Partes de piedra Caliza contienen 650 x 88 = 571.00 % de CaCO_3

100

750 Partes de mezcla contienen 57 = 578.00 % de CaCO_3

GUIA CALCULADA EN LA DOSIFICACION 578 x 100 = 76.5% de CaCO_3

750

Con esta guía en el material crudo se obtienen los siguientes resultados:

COMPOSICION	MATERIAL CRUDO CALCULADO	MATERIAL CRUDO OBTENIDO
SiO ₂	13.55 %	14.05 %
Al ₂ O ₃	4.70	4.20
Fe ₂ O ₃	2.71	2.80
CaO	43.45	44.00
MgO	1.08	0.90
SO ₃	0.10	0.10
Pérdida por Ign.	34.20	33.60
Total	99.71 %	99.65 %

Al calcular los porcentajes del material crudo se parte del porcentaje dado por la fórmula de Eckel obteniéndose resultados más o menos aproximados con la práctica la pequeña discrepancia es debida al muestreo de los materiales crudos.

El efecto de la adición de la escoria básica sobre la composición del crudo se pone de manifiesto al variar los contenidos de Al_2O_3 y Fe_2O_3 que no son semejantes como se ha visto por no haber equivalencia entre ellos.

COMPARACION DEL CLINKER PRODUCIDO CON ESCORIA Y SIN ELLA

COMPOSICION	CLINKER CON ESCORIA	CLINKER SIN ESCORIA
SiO ₂	22.70%	22.90%
Al ₂ O ₃	4.55	5.80
Fe ₂ O ₃	3.20	2.00
CaO	67.30	67.40
MgO	1.28	1.10
SO ₃	0.20	0.10
Pérdida por Ignición	0.20	0.30
Total	99.43%	99.60%
CaO Libre	1.60%	2.90%

RAZONES

Indice de Cementación	1.03	1.04
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Fe_2O_3	2.93	2.94
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	4.98	3.94
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.42	2.90

ENSAYES FISICOS

Finura del Mat. crudo en 200 mallas	88.0%	88.0%
Tons. por Hr. de Mat. crudo .. .	8.400	8.500
Humedad del Mat. Crudo	2.5 %	2.5 %
Guía de CaCO_3 calculada	76.5 %	76.5 %
Guía obtenida de CaCO_3	76.7 %	76.2 %
P. Caliza en %	85.0 %	85.0 %
Barro en %	13.4 %	15.0 %
Escoria férrica en %	1.6 %	-----

CONTROL HORNO

Producción tons/hr.	4.00	3.400
Lts por ton. de aceite	146.0	196.00
Por ciento de estabilidad de mues- tra de clinker	98%	65.%
Factor de crudo	1.78	1.77

CAPITULO IV

VENTAJAS DEL USO DE LA ESCORIA FERRICA

a).—QUIMICAS

Para apreciar mejor las variaciones experimentadas por la composición del cemento portland al añadir escoria férrica en la dosificación del material crudo, he efectuado comparaciones de la composición, de los compuestos, de los módulos.

Comparación del cemento portland obtenido

COMPOSICION	CON ESCORIA	SIN ESCORIA
Red. Ins.	0.11%	0.10%
SiO ₂	22.40	22.70
Al ₂ O ₃	4.60	5.10
Fe ₂ O ₃	3.35	2.00
CaO	64.90	65.00
MgO	1.10	1.20
SO ₃	2.00	2.10
Pérdida por calcinación	1.30	1.50
Total	99.71%	99.70%
COMPUESTOS		
CaSO ₄	3.40%	3.57%
C ₃ A	6.51	10.10

Este aumento se obtiene por la disminución del C_3A , $C_4A.F.$ y origina una mayor resistencia a plazos largos.

b).—FISICAS

Las ventajas físicas obtenidas al agregar escoria al material crudo quedan de manifiesto con el siguiente estudio comparativo.

ENSAYES FISICOS	CEMENTO CON ESCORIA	CEMENTO SIN ESCORIA
Finura en 200 Mallas	92.0 %	89.0 %
Superficie específica	1650 cm ² /gr	1580 cm ² /gr.
Fraguado Inicial	2 hr.	2 hr. 50 min.
Fraguado Final	4. hr	5 hrs. 50 min.
Expansión en mm.	0.0	1.0
Gravedad específica	3.16	3.00
Porcentaje de muestra de cemento estable	99.0 %	84.0 %
Resistencia a la compresión en Kg/cm ²		
24. Horas	70.0	54.00
3. Días	140.0	70.00
7. Días	210.0	140.00
28. Días	260.0	230.00
3. Meses	280.0	260.00
6. Meses	288.0	261.00
1. Año		251.00
Resistencia a la tensión en Kg/cm ²		
24. Días	18.15	16.85
3. Días	23.06	18.60
7. Días	27.80	23.40
28. Días	34.15	31.05
3. Meses	37.28	33.10
6. Meses	38.15	32.90
1. Año		32.15

He de hacer observar que las ventajas desde el punto de vista físico están íntimamente ligadas a las ventajas químicas obtenidas de la adición de la escoria a la dosificación del material crudo.

Estas ventajas desde el punto de vista físico son:

1. El aumento del grado de finura y de su superficie específica.

Según se ha comprobado por varios autores que un cemento con un contenido de silicato tricálcico mayor que el silicato dicálcico posee una facilidad de molienda mayor. Por consiguiente al haber aumentado el contenido de Fe_2O_3 por medio de la escoria, produce un cambio en el contenido en la CaO aumentando la proporción del silicato tricálcico como se ha demostrado.

2. Una reducción del tiempo de fraguado.

Esta ventaja se obtiene porque el silicato tricálcico es superior al dicálcico y por la mayor finura del cemento, debido a que las partículas finas tienen mayor reacción con el agua.

3. Una menor EXPANSION y un porcentaje mayor de cemento estable.

Estas ventajas físicas están íntimamente ligadas con la disminución del porcentaje de CaO libre debido a que ésta es la causante de una importante expansión después del fraguado, queda lugar a la desintegración de la más endurecida, es decir, a la inestabilidad. La estabilidad del cemento ha de ser considerada como de importancia primordial, ya que es la garantía de que un cemento no es expansivo.

Desempeñando en este caso la escoria la principal ventaja de su uso por haber reducido la inestabilidad del cemento, como lo demuestra el alto porcentaje de cemento obtenido.

4. Un aumento en las resistencias a la tensión y a la compresión.

Al aumentar el contenido de Fe_2O_3 por medio de la adición de la escoria se aumenta la proporción del silicato tricálcico que afecta este aumento las resistencias iniciales hasta los 28 días, dependiendo el aumento de las resistencias a largos plazos únicamente del aumento de la suma de los silicatos dicálcicos y tricálcicos según se comprueba con los datos comparativos efectuados en morteros de briquetas y cubos hechos de los cementos distintamente dosificados.

Siendo de observar además que las resistencias a la compresión y tensión no presentan tendencia a la retrogresividad después de los tres meses, sin embargo el aumento es pequeño tendiendo a la estabilización en un periodo de un año.

Las mayores resistencias determinan el valor o calidad del cemento empleado como material de construcción, es aquí donde la escoria férrica nuevamente participa en un papel primordial en la dosificación de los materiales crudos al obtenerse un perfeccionamiento del Cemento Portland de tipo normal.

c). VENTAJAS TECNICO-ECONOMICAS

DATOS	CEMENTO CON ESCORIA	CEMENTO SIN ESCORIA
Producción Horno.		
en tons. por hora	4.000	3.4000
Lts. de petróleo por ton.	146.0	196.0

Molinos Cemento.

Producción de tons. por hr.	5.000	4.000
Finura en 200 Mallas	92.0%	89.0%
Peso de un metro cúbico de cemento	1700 Kgs	1400 Kgs.

1.- Un aumento en la producción del horno.

Con la adición de 1.5 % de escoria férrica se obtiene un aumento de 15 toneladas de clinker en 24 horas de trabajo, por ser el Fe_2O_3 un material fundente que reduce la temperatura de clinkerización.

2.- Una disminución de combustible por tonelada de clinker.

Debido a que requiere menos temperatura para la formación del punto de clinkerización obteniéndose con ello una gran economía de combustible.

3.- Un aumento en la producción de la molienda del cemento.

Debido al mayor porcentaje de Silicato tricálcico obtenido con la agregación de escoria férrica, se obtiene un cemento con mayor facilidad de molienda y por consiguiente un mayor rendimiento en la producción de los molinos.

4.- Mayor capacidad de almacenamiento en los silos.

La gravedad específica del cemento se aumenta con la agregación de escoria obteniéndose mayor peso en un mismo volumen, po.

consiguiente en un volumen determinado hay mayor capacidad de almacenamiento.

5.—Empleo como adulterante.

Siendo la escoria férrica un desperdicio obtenido en las fundiciones, su bajo costo permite considerarlo como un material adulterante.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Durante mis observaciones y experiencias efectuadas en el Laboratorio de la Cía. Mexicana de Cemento Portland "Apaxco", S.A., tuve la oportunidad de comprobar que la desilitación de los materiales crudos se obtenían ventajas en las resistencias, en la finura; es decir, a la calidad del cemento portland; alterándose en cierto modo la producción y economía.

Y con la agregación de la escoria ferrica que es un material rico en Fe_2O_3 a la desilitación de los materiales crudos se obtiene un perfeccionamiento de las propiedades químicas del cemento, favoreciéndose grandemente la calidad y producción. Las ventajas obtenidas en la producción del cemento con la agregación de la escoria férrica a su desilitación son:

1. --Mayores resistencias a la tensión y compresión.
2. --Mayor estabilidad o sanidad del cemento.
3. Mayor finura en el cemento.
4. Una mínima expansión de Le Chatelier.
5. Un incremento en la producción en la calcinación.
6. --Un incremento en la producción de la molienda del cemento.
7. Mayor resistencia al ataque de aguas sulfatadas.
8. Un mínimo calor de Fraguado.
9. Una economía de combustible en la calcinación.
10. Mayor capacidad de almacenamiento.

Las ventajas números 7 y 8 no fueron experimentadas por el suscrito.

En consecuencia haciendo un breve resumen de las experiencias efectuadas podré deducir finalmente que el mejor procedimiento para el perfeccionamiento del cemento portland de tipo normal, es la dosificación y el equilibrio de los compuestos integrantes del cemento, usando para tal la referida agregación de escoria férrica, ya que las pruebas prácticas efectuadas para la determinación de su eficacia aconsejan y demuestran su empleo.

Para concluir diré que una dosificación ideal de material crudo será la que se obtenga con una marga y agregación de un porcentaje de escoria férrica, por resultar un material crudo con una composición química muy favorable que hará posible obtener mejores resultados desde el punto de vista de la calidad y cantidad, por ser este material de una composición más ventajosa y por consiguiente más homogéneo en su composición.

Apaxco, julio de 1945.

JOSE CRUZ MEZA G.

BIBLIOGRAFIA

R.K. Meade.—Portland cement.

William & Norgate, London England 1926.

F.M. Lea and C.H. Desch.—The Chemistry of Cement y Concrete.

Eduard Arnold & Co., London England 1940.

Treadwall and Hall.—Analytical Chemistry Vol. II.

John Withey & Sons, The New York, 1942.

Rock Products - November 1940.

Editorial Staff Chicago Ill. U. S. A.

Norma oficial de Cemento Portland.

Dirección General de Normas S.E.N 1944.

ERRATAS NOTABLES

En la página 39, líneas 22-23, dice:

Fe_2O_3 y de estos dos es preferible aumenar el Al_2O_3 y de estos dos es preferible aumentar el Fe_2O_3 :

debe decir:

Fe_2O_3 y de estos dos es preferible aumentar el Fe_2O_3

En las líneas 29 y 30, dice:

Al disminuir la máxima dosificación de CaO se disminuye también en cierto grado la

debe decir:

Al disminuir la máxima dosificación de CaO se disminuye también en cierto grado la temperatura de klinquerización