



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1718>

Ciencias de Técnicas y Aplicadas
Artículo de investigación

*Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento
utilizando aditivos sintéticos en la molienda*

*Development of a method to increase the initial resistances of cement using
synthetic additives in milling*

*Desenvolvimento de método para aumentar as resistências iniciais do cimento
utilizando aditivos sintéticos na retificação*

Segundo Hugo Calderón ^I
hugoscalderon@yahoo.es
<https://orcid.org/0000-0002-9213-9717>

Jairo Josué Vélez-Ortiz ^{II}
jvelez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2111-5486>

Carlos Rivadeneira- Mosquera ^{III}
calmosquera@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4908-2927>

Hugo Andrés Calderón-Orozco ^{IV}
hugo_andru@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1468-1305>

Nelly Ivonne Guananga-Díaz ^V
nguananga@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0451-7878>

Correspondencia: hugoscalderon@yahoo.es

***Recibido:** 20 de diciembre de 2020 ***Aceptado:** 12 de enero de 2021 * **Publicado:** 08 de febrero del 2021

- I. Ingeniero Químico, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero Químico, Técnico de Laboratorio, Investigador independiente, Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniero Químico, Investigador Independiente, Ecuador.
- IV. Ingeniero Químico, Investigador Independiente, Ecuador.
- V. Master en Ciencias en Biotecnología, Doctora en Química Especialidad Orgánico Bioquímico, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Resumen

En el laboratorio de Química Analítica, de la Facultad de Ciencias- ESPOCH, junto con el laboratorio de la Empresa Cemento Chimborazo C. A. se realizaron investigaciones, con el objetivo del mejoramiento de las resistencias iniciales del Cemento. Durante las etapas de la investigación se procedió a moler las materias primas para la fabricación del cemento, teniendo en cuenta las proporciones utilizadas a nivel industrial de la empresa (cemento patrón): 66 % clínker, 25 % puzolana, 6 % caliza, 3 % yeso y más la dosificación del aditivo estimada para la mejora de las resistencias mecánicas, este aditivo fue colocado en la etapa final de la molienda en un molino de bolas a escala de laboratorio. Al final de la investigación se encontró la cantidad máxima de puzolana que puede ser añadida al clínker con el aditivo RGA K155, dando como resultado una adición entre 15% - 18 % de la masa total a ser molida. De esta manera se pudo optimizar el proceso de producción y mejoramiento de la calidad del cemento específicamente a las resistencias iniciales. Conjuntamente se realizó la adición de Aditivos sintéticos con diferentes dosificaciones en la molienda final del cemento, dando como mejor resultado el aditivo de RUREDIL-ITALIA con nombre comercial RGA K155 con una dosificación de 0,5 mL, en una finura del cemento de 18,67 % de retenido en malla N° 325. Este aditivo ofrece los mejores beneficios con porcentaje de mejoramiento de las resistencias iniciales aproximadamente con 40 % en comparación entre los 4 aditivos investigados. Los resultados de la investigación se basaron en el cumplimiento de los requisitos determinados en la Norma Técnica Ecuatoriana - NTE INEN 490: 2011 quinta revisión - cementos hidráulicos compuestos, requisitos y la Norma Norteamericana ASTM C-595 y bajo los datos obtenidos se justifica la elección del mejor, teniendo en cuenta la eficiencia del aditivo y de igual forma su dosificación.

Para el desarrollo de esta investigación, primero se procedió a recolectar la cantidad necesaria de material en el proceso de molienda, a las cuales se les realizó su caracterización con los parámetros de los indicados en la Norma.

Palabras clave: Adictivos sintéticos; Cemento; Molienda; Optimización Resistencia Iniciales.

Abstract

In the Analytic Chemistry laboratory of the Science Faculty – ESPOCH together with laboratory of the Cemento Chimborazo CA Company were made investigations with the aim of improvement

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

of concrete initial resistance. During the investigation stage were proceeded to grind the raw materials to the concrete fabrication, given the used proportions to industrial level in the company (pattern concrete): 66% clinker, 25% pozzolana, 6% limestone, 3% gypsum more the dosage of additive estimated to the mechanical resistances improve, this additive was placed in the grind final stage in a balls grinder at laboratory scale. At the end of the investigation were found the maximum amount of pozzolana which can be added to clinker with the RGA K155 additive, obtaining as result an addition between 15% - 18% of the total mass to be ground. In this way it was possible to optimize the production process and improvement of concrete quality specifically at the initial resistances. The addition of synthetic additives was carried out jointly with different dispensers in the final grind of concrete giving as best result the RUREDIL-ITALIA additive which commercial name is RGA K155 with a 0.05% dosage of the total mass, in 18.67% concrete refinement of retained in mesh N°325. This additive offers the best benefits with improvement percent of the initial resistances approximately with 40% comparing between the 4 investigated additives. The investigation results were based in the compliance with certain requirements in the Ecuadorian Technical Standard NTE INEN 490:2011 fifth version –compound hydraulic concretes, requirements and the North American Standard ASTM C-595, and under the data obtained the choice of the best is justified, given the efficiency of additive and its dosage in same way.

For the development of this investigation, first it proceeded to collect the necessary quantity of material in the grinding process, which been characterized by the parameters indicated in the Standard.

Keywords: Synthetic additives; Cement; Grinding; Initial Resistance Optimization.

Resumo

No Laboratório de Química Analítica, da Faculdade de Ciências - ESPOCH, em conjunto com o laboratório da Cimento Chimborazo C.A. Company, foram realizadas investigações, com o objetivo de melhorar a resistência inicial do Cimento. Durante as etapas da pesquisa, as matérias-primas para a fabricação do cimento foram trituradas, levando-se em consideração as proporções utilizadas no nível industrial da empresa (cimento padrão): 66% clínquer, 25% pozolana, 6% calcário, 3% gesso e acrescido da dosagem do aditivo estimado para a melhoria da resistência mecânica, este aditivo foi colocado em fase final de moagem em moinho de bolas em escala de

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

laboratório. No final da investigação, foi apurada a quantidade máxima de pozolana que pode ser adicionada ao clínquer com o aditivo RGA K155, resultando em uma adição entre 15% - 18% da massa total a ser moída. Desta forma, foi possível otimizar o processo de produção e melhorar a qualidade do cimento especificamente para as resistências iniciais. Paralelamente, foi realizada a adição de aditivos sintéticos com diferentes dosagens na moagem final do cimento, obtendo-se o melhor resultado o aditivo de RUREDIL-ITALIA com o nome comercial RGA K155 na dosagem de 0,5 mL, na finura de 18, 67% de retenção na malha N ° 325. Este aditivo oferece os melhores benefícios com percentual de melhoria das resistências iniciais com aproximadamente 40% em comparação entre os 4 aditivos investigados. Os resultados da investigação foram baseados no cumprimento dos requisitos determinados na Norma Técnica Equatoriana - NTE INEN 490: 2011 quinta revisão - cimentos hidráulicos compostos, requisitos e na Norma Norte Americana ASTM C-595 e nos dados obtidos a escolha é justificado do melhor, tendo em conta a eficácia do aditivo e da mesma forma a sua dosagem.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, primeiramente foi coletada a quantidade necessária de material no processo de retificação, os quais foram caracterizados com os parâmetros daqueles indicados na Norma.

Palavras-chave: Aditivos sintéticos; Cimento; Esmerilhamento; Otimização de resistência inicial

Introducción

La industria cementera actualmente es la de mayor crecimiento a nivel mundial. Las empresas han mejorado su línea de producción mediante la implementación de nuevos sistemas tecnológicos, con el propósito de disminuir sus costos de producción, especialmente los energéticos y obtener un producto de óptima calidad. En la fabricación del cemento, se elabora un componente artificial llamado clínker, que resulta de la calcinación hasta su sintonización, adicional de las mezclas homogeneizadas de caliza y arcilla, para obtener un producto de calidad.

Las resistencias del cemento dependen principalmente de la calidad de las materias primas, del proceso de formación de un clínker de calidad y de la dosificación en la molienda final, del mismo modo, una molienda eficiente está relacionada con la finura y está involucrada con las resistencias.

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Para aumentar las resistencias, se ha visto necesario investigar la utilización de aditivos sintéticos, conocidos comúnmente como coadyuvantes de molienda, lo que conlleva además el aumento de la producción, mejoramiento de la eficiencia de la molienda y el aumento de las resistencias iniciales

Metodología

La presente investigación tiene como objetivos mejorar las resistencias iniciales del Cemento Portland Puzolánico 1P utilizando aditivos sintéticos en la molienda final del cemento.

Caracterizar las materias primas (caliza, yeso y puzolana) y materia semielaborada (clínker).

Dosificar los aditivos en el Cemento Portland Puzolánico IP hasta encontrar la cantidad óptima.

Dosificar la cantidad de Puzolana hasta encontrar la máxima adición posible al Cemento Portland Puzolánico IP.

Caracterizar la calidad de los Cementos Puzolánicos con aditivos basado en la Norma INEN 490: 2011.

Materiales y métodos

Se aplicaron muestreos puntuales simples y compuestos de materias primas, material semielaborado y producto terminado, los mismos que fueron muestreados, recolectados y homogenizados en las cantidades necesarias, para todos los diferentes aditivos con sus variadas dosificaciones.

El yeso (YE) se separó 3 kg, el cual fue triturado y secado lentamente sin perder sus propiedades. Luego se hizo sus respectivos análisis químicos para encontrar su composición.

La caliza (CAL) fue preparado en aproximadamente 6 Kg, luego fue triturada y secada; posteriormente se procedió a realizar sus respectivos análisis químicos.

La puzolana (Pz) como aditivo natural, se separó en aproximadamente 35 kg previamente seca. Así mismo luego se realizó los análisis para determinar su composición química y calidad.

El clínker. (CL) como materia principal en la molienda final del cemento fue recolectado durante varios días, en aproximadamente 100 kg al cual se hizo sus respectivos análisis para encontrar su composición química. El clínker es un material semielaborado que fue tamizado por las mallas N°4 (4,75mm) y N°5 para su posterior molienda.

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Las muestras de cemento preparado fueron obtenidas en el molino de bolas a escala de laboratorio. En el proceso de molienda se utilizó cantidades dosificadas a un 1,0 kg que es la capacidad del molino, la relación con los cuerpos moledores es 10 kg de cuerpos moledores/ 1 kg de material a moler (relación 10). El tiempo de molienda es 1h.

Todos los materiales antes de ser molido fueron triturados y pasados por el tamiz N°4 (4,75mm) y el cemento ya molido fue tamizado por la malla N° 325, se realizaron 2 moliendas las mismas que fueron homogenizadas para su posterior análisis físico químico.

Preparación del cemento utilizando aditivos

Los aditivos líquidos utilizados para la investigación, fueron adquiridos a Sika Ecuatoriana S.A. (aditivos A y B) y RUREDIL S.P.A. de Italia (aditivos C y D) y se incorporan mediante el proceso de molienda en el interior del molino.

Son aditivos, que sirven como: acelerador de fraguado, reductor de agua y compuestos mejoradores de resistencias iniciales y a largo plazo, incrementa la velocidad de hidratación del cemento.

Reducen los costos de producción del cemento a través del reemplazo de Clinker por adición de puzolana, escorias de altos hornos y cenizas volantes.

Incrementan la eficiencia de la molienda resultando una mayor productividad, mayor finura del cemento y una reducción de la energía.

Facilitan el procesado y manipulación, tales como bombeo, extracción de silos y ensacado.

Tabla 1: Dosificaciones con el aditivo A - SikaGrind 109-EC

N°	CL (g)	Pz (g)	YE (g)	CAL (g)	ADITIVO A (mL)
A1	660	250	30	60	0,25
A2	660	250	30	60	0,50
A3	660	250	30	60	0,75
A4	660	250	30	60	1,0
A5	660	250	30	60	1,25
A6	660	250	30	30	1.50

Tabla 2: Dosificaciones con el aditivo B - SikaGrind 860

N°	CL (g)	Pz (g)	YE (g)	CAL (g)	ADITIVO B (mL)
B1	660	250	30	60	0,25
B2	660	250	30	60	0,5
B3	660	250	30	60	0,75
B4	660	250	30	60	1,0
B5	660	250	30	60	1,25
B6	660	250	30	60	1,5

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Tabla 3: Dosificaciones con el aditivo C - RGA K155

N°	CL (g)	Pz (g)	YE (g)	CAL (g)	ADITIVO C (mL)
C1	660	250	30	60	0,2
C2	660	250	30	60	0,3
C3	660	250	30	60	0,4
C4	660	250	30	60	0,5
C5	660	250	30	60	0,6

Tabla 4: Dosificaciones con el Aditivo D - RGA S346

N°	CL (g)	Pz (g)	YE (g)	CAL (g)	ADITIVO D (mL)
D1	660	250	30	60	0,5
D2	660	250	30	60	1,0
D3	660	250	30	60	1,5
D4	660	250	30	60	2,0

Análisis experimental

Análisis Químico

En los Laboratorios se realizaron análisis cuantitativos en un Espectrómetro de Rayos X y los métodos gravimétricos y complejos métricos, para Materias Primas (yeso, caliza y puzolana), Producto semielaborado (Clinker), además del mineralógico y Producto terminado (Cemento)

Análisis Físico

En los Laboratorios se realizaron los diferentes análisis físicos, utilizando los equipos descritos en la Norma ASTM 668

Análisis químico clinker	Método analítico
Determinación de Sílice	Gravimetría
Determinación de cationes	Gravimetría
Determinación de óxido de hierro	Volumetría
Determinación de óxido de aluminio	Volumetría
Determinación de óxido de calcio	Volumetría
Determinación de cal libre	Volumetría
Determinación de residuo insoluble	Gravimetría
Determinación de pérdida por calcinación.	Gravimetría
Análisis químico cemento	Metodo de ensayo aplicable
Oxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160
Sulfato, reportado como (SO3), % máximo	INEN 160

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Residuo Insoluble, % máximo	INEN 160
Pérdida por Calcinación, % máximo	INEN 160
Análisis físico cemento	Norma aplicable
Determinación de la finura: Cantidad retenida por tamizado vía seca en tamiz No 325 %	NTE INEN 957
Determinación de la finura: utilizando el aparato Blaine, Permeabilidad al aire (cm ² /g)	NTE INEN 196
Determinación de la expansión método de la autoclave, Deformación de probetas (%)	NTE INEN 200
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat Fraguado, minutos, no menor a Fraguado, horas, no mayor a	NTE INEN 158
Determinación del contenido de aire en morteros, volumen % máximo	NTE INEN 195
Determinación de Resistencia a la compresión, mínimo, MPa 3 días 7 días 28 días	NTE INEN 488
Determinación del índice de actividad puzolánica	NTE INEN 496

Tabla 5: Resultados de Análisis químico de materias primas

Composición química (%)														
Composición	%												%	%
Materia	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Σ T	CaCO ₃	YESO
Yeso	20,08	4,91	0,81	1,53	30,03	0,09	41,92	0,42	0,21	100	...	90,41
Caliza	36,13	14,51	1,76	1,15	44,95	1,06	0,18	0,1	0,16	100	79,75	
Puzolana	3,4	65,74	14,64	2,78	5,09	0,84	...	3,8	3,31	0,4	...	100	...	

Tabla 6: Resultados del Índice de actividad puzolánica método del cemento

Resistencia	3 días	7 días	28 días
Características	Mpa		
Mortero de ensayo	9,89	22,57	32,52
Cemento patrón	25,89	33,41	39,69
Índice de actividad	81,93%		

Tabla 7: Resultados del Análisis físico-químicos del Clínter

Clinker (%)	Rx	Gravimetría	Mineralógica
Perd. Fuego	0,12	0,12	...
SiO ₂	22,64	23,29	...
Al ₂ O ₃	4,27	4,75	...
Fe ₂ O ₃	3,69	3,59	...
CaO	66,96	65,90	...

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Mgo	1,29	1,29	...
So3	0,55	0,55	...
Na2o	0,00	0,00	...
K2o	0,13	0,13	...
Tio2	0,34	0,34	...
P2o5			...
Total	100	100	...
Cal libre			0,62
Peso litro (g)			1210,7
S. Alcalis	0,09	0,09	...
C3s	63,99	51,67	56,23
C2s	16,64	27,79	29,46
C3a	5,07	6,51	1,38
C4af	11,24	10,92	12,27

Resultados de análisis físico – químicos del cemento portlan puzolánico ip

Tabla 8: Dosificación con el Aditivo A- Sikagrind 109-EC

Dosificación del cemento	66% clinker, 25% puzolana, 6% caliza y 3% yeso							
Identificación	Inen 490	Cp	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Aditivo dosificación (ml/1000g)	0	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5
Aditivo dosificación (ml/ton)	0	0	250	500	750	1000	1250	1500
Análisis químicos (%)								
Perd. Fuego	Máx. 5	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
Mgo	Máx. 6	1,14	1,14	1,15	1,14	1,13	1,13	1,13
So3	Máx. 4	1,82	1,81	1,83	1,81	1,78	1,79	1,78
Ensayos físicos								
Fraguado inicial (min)	> 45	162	139	139	145	144	134	130
Fraguado final (h)	< 7	3,72	3,7	3,73	3,57	3,57	3,48	3,33
Contenido de aire (%)	≤ 12	1,5259	1,8877	1,5930	1,4735	1,8654	1,8567	2,2055
Autoclave (%)	0,8 - 0,2	0,0196	0,01969	0,01984	0,02362	0,01944	0,03268	0,01976
Blaine (cm2/g)		3758	4017	4017	4067	4042	4017	4017
Retenido malla n° 325 (%)		19,5	18,43	18	16,24	16,99	17,37	17,85
Mejoramiento malla n° 325 (%)			5,5	7,7	16,7	12,9	10,9	8,5
Resistencia a la compresión (mpa): cubos								
1 día	0	4,54	5,54	5,79	6,09	5,93	6,67	5,98
3 días	13	7,91	8,58	10,11	9,9	10,63	11,97	10,91
7 días	20	12,59	13,02	15,47	14,6	15,63	17,96	15,75
28 días	25	24	23,07	28,99	27,64	30,16	30,47	28,58

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Figura 1: Resistencias mecánicas utilizando el Aditivo A

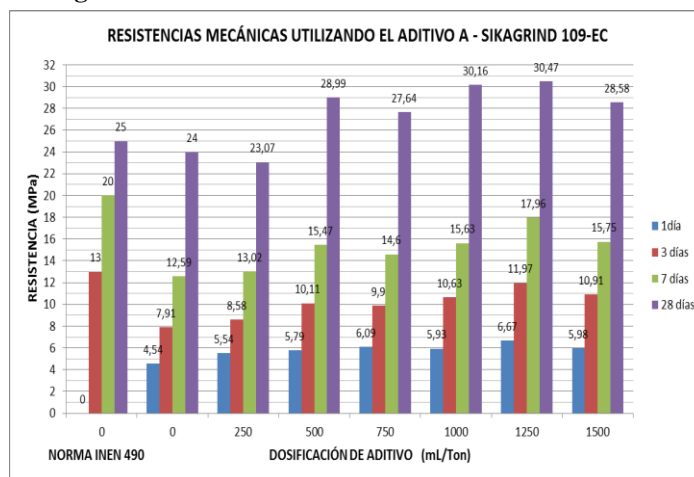


Tabla 9: Dosificación con el Aditivo B - Sikagrind 860

Dosificación del cemento	66% clinker, 25% puzolana, 6% caliza y 3% yeso							
Identificación	Inen 490	Cp	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Aditivo dosificación (ml/1000 g)	0	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5
Aditivo dosificación (ml/ton)	0	0	250	500	750	1000	1250	1500
Análisis químicos (%)								
Perd. Fuego	Máx. 5	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
Mgo	Máx. 6	1,14	1,13	1,16	1,11	1,14	1,10	1,13
So3	Máx. 4	1,82	1,83	1,79	1,85	1,79	1,80	1,73
Ensayos físicos								
Fraguado inicial (min)	> 45	162	199	184	178	177	185	196
Fraguado final (h)	< 7	3,72	4,18	4,1	4,78	4,1	4,02	4,2
Contenido de aire (%)	≤ 12	1,5259	2,1483	2,0098	2,0843	2,0277	1,8478	1,9466
Autoclave (%)	0,8 - 0,2	0,0196	- 0,0463	- 0,0079	- 0,0116	- 0,0117	- 0,0132	- 0,0147
Blaine (cm2/g)		3758	3992	4017	4042	4067	3942	3964
Retenido malla n° 325 (%)		19,5	18,2	17,99	17,88	17,79	19,4	19,22
Mejoramiento malla n°325 (%)			6,67	7,74	8,31	8,77	0,51	1,44
Resistencia a la compresión (mpa): cubos								
1 día	0	4,54	5,25	4,72	4,63	5,48	4,85	4,23
3 días	13	7,91	9,83	9,49	8,54	9,3	10,82	9,37
7 días	20	12,59	15,31	14,74	13,11	16,67	15,53	14,12
28 días	25	24	26,58	27,42	23,65	30,85	28,11	24,68

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Figura 2: Resistencias mecánicas utilizando el Aditivo B

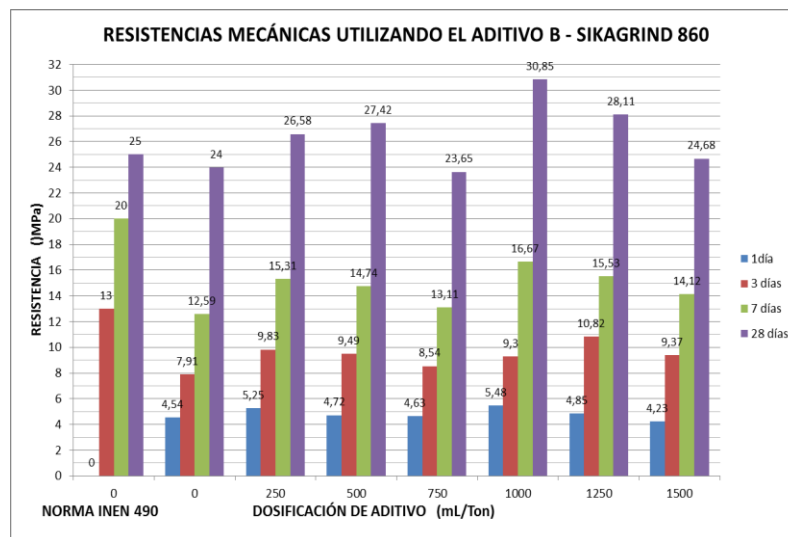


Tabla 10: Dosificación con el Aditivo C - RGA K155

Dosificación del cemento	66% clinker, 25% puzolana, 6% caliza y 3% yeso						
Identificación	Inen 490	Cp	C1	C2	C3	C4	C5
Aditivo dosificación (ml/1000 g)	0	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Aditivo dosificación (ml/ton)	0	0	200	300	400	500	600
Análisis químicos (%)							
Perd. Fuego	Máx. 5	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
Mgo	Máx. 6	1,14	1,11	1,15	1,12	1,13	1,10
So3	Máx. 4	1,82	1,77	1,80	1,81	1,82	1,82
Ensayos físicos							
Fraguado inicial (min)	> 45	162	125	120	135	130	150
Fraguado final (h)	< 7	3,72	3,0	3,0	3,33	3,25	3,92
Contenido de aire (%)	≤ 12	1,5259	1,3978	2,3777	2,2906	1,9913	2,3927
Autoclave (%)	0,8 - 0,2	0,0196	-	-	0,0369	0,0463	0,0031
Blaine (cm2/g)		3758	3992	4017	4042	4067	4017
Retenido malla n° 325 (%)		19,5	18,37	17,27	16,62	15,86	17,2
Mejoramiento malla n° 325 (%)			5,79	11,44	14,77	18,67	11,79
Fraguado inicial (min)	> 45	162	125	120	135	130	150
Resistencia a la compresión (mpa): cubos							
1 día	0	4,54	6,46	5,93	6,61	6,65	6,19
3 días	13	7,91	11,84	10,81	11,8	12	11,3
7 días	20	12,59	17,47	16,18	17,36	17,96	16,93
28 días	25	24	34,27	30,39	31,99	33,02	29,09

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Figura 3: Resistencias mecánicas utilizando el Aditivo C

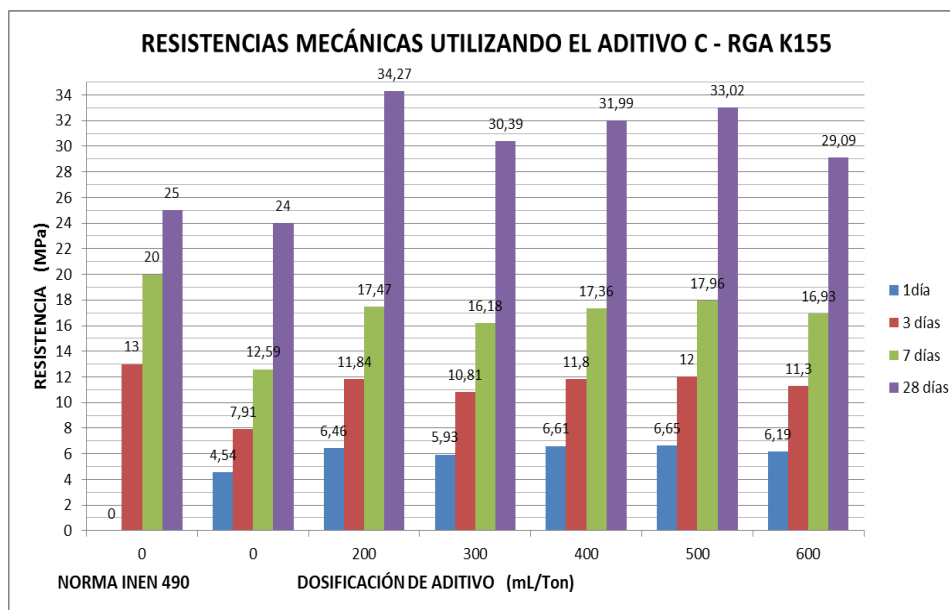
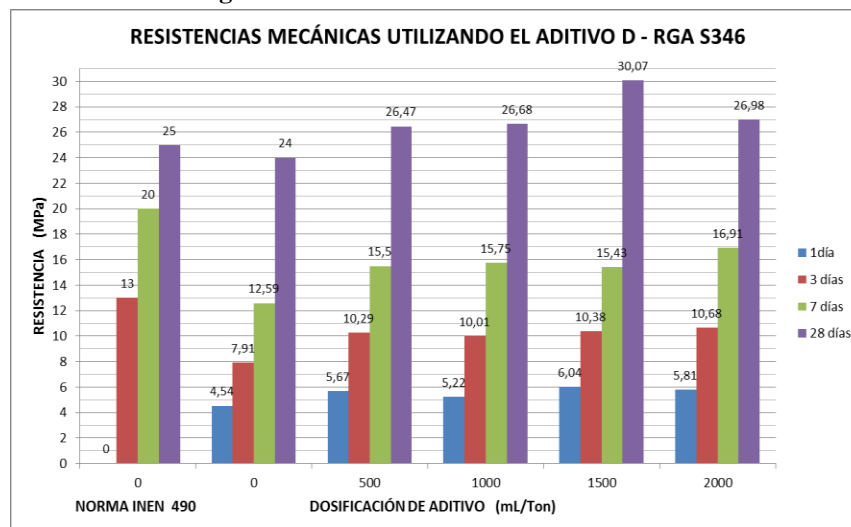


Tabla 11: Dosificación con el Aditivo D - RGA S346

Dosificación del cemento	66% clinker, 25% puzolana, 6% caliza y 3% yeso					
Identificación	Inen 490	Cp	D1	D2	D3	D4
Aditivo dosificación (ml/1000 g)	0	0	0,5	1,0	1,5	2,0
Aditivo dosificación (ml/ton)	0	0	500	1000	1500	2000
Análisis químicos (%)						
Perd. Fuego	Máx. 5	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
Mgo	Máx. 6	1,14	1,10	1,08	1,13	1,11
So3	Máx. 4	1,82	1,79	1,85	1,82	1,84
Ensayos físicos						
Fraguado inicial (min)	> 45	162	148	130	133	153
Fraguado final (h)	< 7	3,72	3,63	3,17	3,33	3,72
Contenido de aire (%)	≤ 12	1,5259	2,2798	2,0256	2,1066	2,1554
Autoclave (%)	0,8 - 0,2	0,0196	-0,01581	-0,00787	-0,01575	-0,00315
Blaine (cm2/g)		3758	4017	4017	4042	3992
Retenido malla n° 325 (%)		19,5	18,03	18,3	17,46	19,29
Mejoramiento malla n° 325 (%)			7,54	6,15	10,46	1,08
Resistencia a la compresión (mpa): cubos						
1 día	0	4,54	5,67	5,22	6,04	5,81
3 días	13	7,91	10,29	10,01	10,38	10,68
7 días	20	12,59	15,5	15,75	15,43	16,91
28 días	25	24	26,47	26,68	30,07	26,98

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Figura 4: Resistencias mecánicas utilizando el Aditivo D



Dosificación de aditivos naturales al cemento

Tabla 12: Dosificación de aditivos con el de 20% puzolana

Dosificación del cemento	71% clinker, 20% puzolana, 6% caliza y 3% yeso				
Identificación	Inen 490	Ca3	Cb4	Cc4	Cd3
Aditivo dosificación (ml/1000 g)	0	0,75	1,0	0,5	1,5
Aditivo dosificación (ml/ton)	0	750	1000	500	1500
Análisis químicos (%)					
Perd. Fuego	Máx. 5	3,91	3,91	3,91	3,91
Mgo	Máx. 6	1,24	1,14	1,15	1,14
So3	Máx. 4	1,88	1,93	1,96	1,90
Ensayos físicos					
Fraguado inicial (min)	> 45	145	154	132	118
Fraguado final (h)	< 7	3,28	3,25	3,38	3,10
Contenido de aire (%)	≤ 12	2,0472	2,1679	2,4401	2,1356
Autoclave (%)	0,8 - 0,2	-0,0071	-0,0122	-0,0024	-0,0148
Blaine (cm2/g)		3722	3694	3749	3776
Retenido malla n° 325 (%)		19,17	19,62	18,98	18,9
Resistencia a la compresión (mpa): cubos					
1 día	0	6,38	5,77	6,45	6,83
3 días	13	12,04	8,94	12,34	12,73
7 días	20	18,97	15,81	15,86	16,73
28 días	25	25,63	24,82	26,96	28,11

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Figura 5: Resistencias mecánicas utilizando 20% de Puzolana

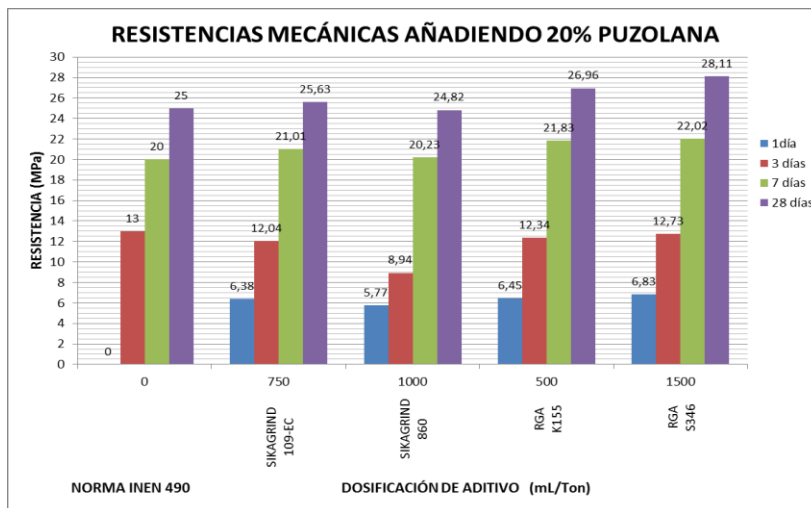
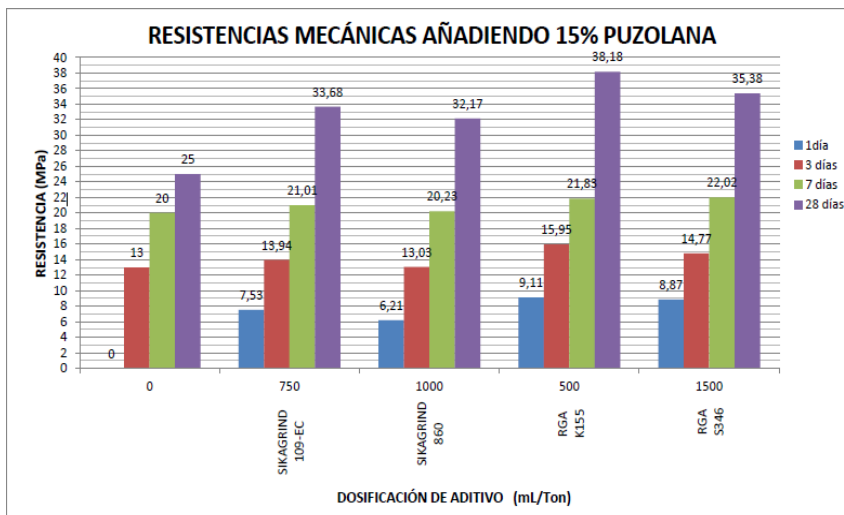


Tabla 13: Dosificación de aditivos con el 15% puzolana

Dosificación del cemento	76% clinker, 15% puzolana, 6% caliza y 3% yeso				
Identificación	Inen 490	Ca3	Cb4	Cc4	Cd3
Aditivo dosificación (ml/1000 g)	0	0,75	1,0	0,5	1,5
Aditivo dosificación (ml/ton)	0	750	1000	500	1500
Análisis químicos (%)					
Perd. Fuego	Máx. 5	3,93	3,93	3,93	3,93
Mgo	Máx. 6	1,24	1,14	1,15	1,14
So3	Máx. 4	1,88	1,93	1,96	1,90
Ensayos físicos					
Fraguado inicial (min)	> 45	139	148	130	115
Fraguado final (h)	< 7	3,27	3,40	3,12	2,83
Contenido de aire (%)	≤ 12	2,8658	2,9009	2,8343	2,7670
Autoclave (%)	0,8 - 0,2	-0,0227	- 0,0031	- 0,0148	- 0,0016
Blaine (cm2/g)		3543	3514	3600	3572
Retenido malla n° 325 (%)		19,62	20,91	18,07	19,28
Resistencia a la compresión (mpa): cubos					
1 día	0	7,53	6,21	9,11	8,87
3 días	13	13,94	13,03	15,95	14,77
7 días	20	21,01	20,23	21,83	22,02
28 días	25	33,68	32,17	38,18	35,38

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Figura 6: Resistencias mecánicas utilizando 15% de Puzolana



Resultados y discusión

La composición química de las materias primas como: yeso, caliza y puzolana. Según los resultados tenemos:

El Yeso con 41,92 % de SO3 es decir de un 90,13 % de Yeso.

La caliza como material de adición en la molienda tiene un 79,75 % CaCO3, parámetros de la Norma Técnica Interna, que dice: La piedra caliza debe ser un material natural que contenga por lo menos el 70 % en masa de una o más de las formas minerales de carbonato de calcio. Entonces estaría dentro de los límites permitidos.

La Puzolana tiene un 65,74 % SiO2, a dicha puzolana se realizó la determinación del Índice de la Actividad Puzolánica por el método del cemento, dando un índice de actividad de 81,93 % que, según la Norma Cementos Hidráulicos Compuestos, Requisitos-NTE INEN 490:2011 permite un % mínimo a los 28 días de 75 %, así estaría dentro de lo permitido.

El clinker fue analizado mediante tres métodos; obteniendo los siguientes compuestos mineralógicos

Método de espectrometría de rayos x en el clínker		
63,99 %	C3s	Silicato tricálcico
16,64 %	C2s	Silicato dicálcico
5,07 %	C3a	Aluminiato tricalcico
11,24 %	C4af	Fluorito aluminato tetracálcico

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Método de análisis gravimétrico en el clinker		
51,67 %	C3s	Silicato tricálcico
27,79 %	C2s	Silicato dicálcico
6,51 %	C3a	Aluminiato tricalcico
10,92 %	C4af	Fluorito aluminato tetracálcico
Difracción la composición mineralógica		
56,23 %	C3s	Silicato tricálcico
29,46 %	C2s	Silicato dicálcico
1,38 %	C3a	Aluminiato tricalcico
12,27 %	C4af	Fluorito aluminato tetracálcico

Los compuestos mineralógicos son calculados a partir de la composición química obtenida en los métodos gravimétricos y por rayos x, sin existir mucha diferencia Es de indicar que son muy importante los cuatro componentes mineralógicos en el Clinker; debido a que de ellos dependen las resistencias iniciales y finales en especial el C3S y C2S; a valores más altos de los componentes mineralógicos las resistencias mecánicas mejoran.

Para encontrar la dosificación más eficiente de cada aditivo, se utilizó constantemente en la molienda 25 % Puzolana, 3 % Yeso, 6 % Caliza, 66 % Clinker (cemento patrón) y el aditivo, cuyo porcentaje es expresado en por ciento de la masa total o en ml de aditivo utilizado.

También se utilizó dosificaciones con el 20 y 15 % de Puzolana, variando la adición de Clinker y las dosificaciones de los aditivos, en base a los cementos preparados CA3, CB4, CC4 y CD3 que tienen menor % de retenido en malla N° 325 y una finura mayor por medio del Blaine (cm²/g)

Parámetros físicos	Cemento con aditivo 0,75 ml (ca3)	Cemento con aditivo 1,0 ml (cb4)	Cemento con aditivo 0,5 ml (cc4)	Cemento con aditivo 1,5 ml (cd3)
Blaine (cm ² /g)	4067	4067	4067	4042
Retenido Malla n° 325 (%)	16,24	17,79	15,86	17,46
Mejoramiento malla n°325 (%)	16,70	8,77	18,67	10,46

Resultados notables obtenidos en base a la norma nte inen 490

Con el aditivo a - sikagrind 109-ec

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Componente	Norma inen 490	Resultados	Cantidad aditivo (ml)	Análisis
Composición química (%)				Los porcentajes de la composición química de la muestra se mantiene casi inalterable y están dentro de los rangos permitidos por la Norma INEN 490
Análisis físico				
Fraguado inicial (min.)	> 45	162 130 145	0,0 1,50 0,75	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Fraguado final (horas)	< 7	3,72 3,33 3,57	0,0 1,5 0,75 y 1,0	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Contenido de aire (%)	≤ 12	1,5259 1,4735 2,2055	0,0 0,75 1,5	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Expansión o contracción en autoclave (%)	0,8 - 0,2	0,01960 0,01944 0,03268	0,0 1,0 1,25	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Mejoramiento de malla N°325 (%)		16,7	0,75	La dosis más eficiente es de 0,75 ml de aditivo en cemento, con un mejoramiento de 16,7 %. Los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la Norma INEN 490
Resistencias a la compresión				
1 día (MPa)	---	4,54 5,54 6,67	0,0 0,25 1,25	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
3 días (MPa)	13	7,91 8,58 11,97	0,0 0,25 1,25	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo Ningún resultado cumple con la Norma INEN 490 que es de 13 MPa
7 días (MPa)	20	12,59 13,02 17,96	0,0 0,25 1,25	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo Ningún resultado cumple con la Norma INEN 490 que es de 20 MPa
28 días (MPa)	25	24 23,07 30,47	0,0 0,25 1,5	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo El cemento patrón sin aditivo no cumple con la Norma INEN 490. El cemento patrón con aditivo 0,25 ml tampoco cumple con la Norma INEN 490

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Con el aditivo B - SIKAGRIND 860

Componente	Norma inen 490	Resultados	Cantidad aditivo (ml)	Análisis
Composición química (%)				Los porcentajes de la composición química de la muestra se mantiene casi inalterable y están dentro de los rangos permitidos por la Norma INEN 490
Análisis físico				
Fraguado inicial (min.)	> 45	162 177 199	0,0 1,0 0,75	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Fraguado final (horas)	< 7	3,72 4,1 4,78	0,0 0,5 y 1,0 0,75	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Contenido de aire (%)	≤ 12	1,5259 1,8478 2,1483	0,0 1,25 0,25	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Expansión o contracción en autoclave (%)	0,8 - 0,2	0,01960 - 0,0436 - 0,0079	0,0 0,25 0,5	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Mejoramiento de malla N°325 (%)		8,77	0,75	La dosis más eficiente es de 1,0 ml de aditivo en cemento, con un mejoramiento de 16,7 %. Los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la Norma INEN 490
Resistencias a la compresión				
1 día (MPa)	---	4,54 4,23 5,48	0,0 1,5 1,0	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
3 días (MPa)	13	7,91 8,54 10,82	0,0 0,75 1,25	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo Ningún resultado cumple con la Norma INEN 490 que es de 13 MPa
7 días (MPa)	20	12,59 13,11 16,67	0,0 0,75 1,0	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo Ningún resultado cumplen con la Norma INEN 490 que es de 20 MPa
28 días (MPa)	25	24 23,65 30,85	0,0 0,75 1,0	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo El cemento patrón sin aditivo no cumple con la Norma INEN 490. El cemento patrón con aditivos 0,75 ml y 1,5 ml tampoco cumple con la Norma INEN 490

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Con el Aditivo C - RGA K155

Componente	Norma inen 490	Resultados	Cantidad aditivo (ml)	Análisis
Composición química (%)				Los porcentajes de la composición química de la muestra se mantiene casi inalterable y están dentro de los rangos permitidos por la Norma INEN 490
ANÁLISIS FÍSICO				
Fraguado inicial (min.)	> 45	162 120 150	0,0 0,3 0,6	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Fraguado final (horas)	< 7	3,72 3,0 3,92	0,0 0,2 y 0,3 0,6	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Contenido de aire (%)	≤ 12	1,5259 1,3978 2,3927	0,0 0,2 0,6	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Expansión o contracción en autoclave (%)	0,8 - 0,2	0,01960 -0,0463 0,0031	0,0 0,5 0,6	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
Mejoramiento de malla N°325 (%)		18,67	0,75	La dosis más eficiente es de 0,5 ml de aditivo en cemento, con un mejoramiento de 18,67 %. Los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la Norma INEN 490
Resistencias a la compresión				
1 día (MPa)	---	4,54 5,93 6,65	0,0 0,3 0,5	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo
3 días (MPa)	13	7,91 10,81 12,0	0,0 0,3 0,5	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo Ningún resultado cumple con la Norma INEN 490 que es de 13 MPa
7 días (MPa)	20	12,59 16,18 17,96	0,0 0,3 0,5	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis Cemento patrón más dosis Ningún resultado cumple con la Norma INEN 490 que es de 20 MPa
28 días (MPa)	25	24 29,09 34,27	0,0 0,6 0,2	Cemento patrón sin aditivos Cemento patrón más dosis aditivo Cemento patrón más dosis aditivo El cemento patrón sin aditivo no cumple con la Norma INEN 490. Las demás dosificaciones cumplen satisfactoriamente. Dónde el aditivo C resulta ser más eficiente.

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Con el Aditivo D - RGA S346

Componente	Norma inen 490	Resultados	Cantidad aditivo (ml)	Análisis
Composición química (%)				Los porcentajes de la composición química de la muestra se mantiene casi inalterable y están dentro de los rangos permitidos por la Norma INEN 490
Análisis físico				
Fraguado inicial (min.)	> 45	162	0,0	Cemento patrón sin aditivos
		130	1,0	Cemento patrón más dosis aditivo
		153	2,0	Cemento patrón más dosis aditivo
Fraguado final (horas)	< 7	3,72	0,0	Cemento patrón sin aditivos
		3,17	1,0	Cemento patrón más dosis aditivo
		3,72	2,0	Cemento patrón más dosis aditivo
Contenido de aire (%)	≤ 12	1,5259	0,0	Cemento patrón sin aditivos
		2,0256	1,0	Cemento patrón más dosis aditivo
		2,2798	0,5	Cemento patrón más dosis aditivo
Expansión o contracción en autoclave (%)	0,8 - 0,2	0,01960	0,0	Cemento patrón sin aditivos
		- 0,01581	0,5	Cemento patrón más dosis aditivo
		-0,00315	2,0	Cemento patrón más dosis aditivo
Mejoramiento de malla N°325 (%)		18,67	0,75	La dosis más eficiente es de 1,5 ml de aditivo en cemento, con un mejoramiento de 10,48 %. Los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la Norma INEN 490
Resistencias a la compresión				
1 día (MPa)	---	4,54	0,0	Cemento patrón sin aditivos
		5,22	1,0	Cemento patrón más dosis aditivo
		6,04	1,5	Cemento patrón más dosis aditivo
3 días (MPa)	13	7,91	0,0	Cemento patrón sin aditivos
		10,01	1,0	Cemento patrón más dosis aditivo
		10,68	2,0	Cemento patrón más dosis aditivo Ningún resultado cumple con la Norma INEN 490 que es de 13 MPa
7 días (MPa)	20	12,59	0,0	Cemento patrón sin aditivos
		15,43	1,5	Cemento patrón más dosis aditivo
		16,91	2,0	Cemento patrón más dosis aditivo Ningún resultado cumple con la Norma INEN 490 que es de 20 MPa
28 días (MPa)	25	24	0,0	Cemento patrón sin aditivos
		26,47	0,5	Cemento patrón más dosis aditivo
		30,07	1,5	Cemento patrón más dosis aditivo El cemento patrón sin aditivo no cumple con la Norma INEN 490. Las demás dosificaciones si cumplen

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

Dosificación de aditivos naturales al cemento

La siguiente tabla indica los mejores resultados obtenidos con los diferentes aditivos en las 4 mezclas preparadas anteriormente, basados en los que tienen menor % de retenido en malla N° 325 y una finura mayor por medio del Blaine (cm²/g), las mismas que se utilizan para preparar mezclas de cemento con el 20 y 15 % de puzolana.

Parámetros físicos	Cemento con aditivo 0,75 ml (ca3)	Cemento con aditivo 1,0 ml (cb4)	Cemento con aditivo 0,5 ml (cc4)	Cemento con aditivo 1,5 ml (cd3)
Blaine (cm ² /g)	4067	4067	4067	4042
Retenido malla N° 325 (%)	16,24	17,79	15,86	17,46
Mejoramiento malla n°325 (%)	16,70	8,77	18,67	10,46

Mezcla de Cemento con de 20 % puzolana y dosificación con Aditivos

Componente	Norma inen 490	Resultados	Cantidad y tipo de aditivo (ml)	Análisis
Composición química (%)				Las mezclas de cementos preparados: ca3, cb4, cc4 y cd3, con una adición del 20 % de puzolana la composición química no tiene mucha variación y cumple con la norma inen 490
Análisis físico				
Fraguado inicial (min.)	> 45	118 154	1,5 - d3 1,0 - b4	Cemento patrón más dosis aditivo d3 Cemento patrón más dosis aditivo b4
Fraguado final (horas)	< 7	3,10 3,38	1,5 - d3 0,5 - c4	Cemento patrón más dosis aditivo d3 Cemento patrón más dosis aditivo c4
Contenido de aire (%)	≤ 12	2,0472 2,4401	0,75 - a3 0,5 - c4	Cemento patrón más dosis aditivo a3 Cemento patrón más dosis aditivo c4
Expansión o contracción en autoclave (%)	0,8 - 0,2	-0,0148 -0,0024	1,5 - d3 0,5 - c4	Cemento patrón más dosis aditivo d3 Cemento patrón más dosis aditivo c4
Blaine (cm ² /g)	----	3694 3776	1,0 - b4 1,5 - d3	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo d3
Retenido malla n°325 (%)	----	19,62 18,9	1,0 - b4 1,5 - d3	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo d3 Los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la norma inen 490
Resistencias a la compresión				
1 día (mpa)	---	5,77 6,83	1,0 - b4 1,5 - d3	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo d3

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

3 días (mpa)	13	8,94 12,73	1,0 - b4 1,5 - d3	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo d3 Ningún resultado cumple con la norma inen 490 que es de 13 mpa
7 días (mpa)	20	15,81 18,97	1,0 - b4 0,75 - a3	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo a3 Ningún resultado cumple con la norma inen 490 que es de 20 mpa
28 días (mpa)	25	24,82 28,11	1,0 - b4 1,5 - d3	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo d3 El cemento con aditivo b4 no cumple con la norma inen 490. Todas las demás dosificaciones si cumplen con la norma inen 490 que es de 28 mpa con el 20 % de puzolana; especialmente con el aditivo d (ruredil s.p.a. de italia) con las dosificaciones 1,5 ml

Mezcla de Cemento con de 15 % puzolana y dosificación con Aditivos

Componente	Norma inen 490	Resultados	Cantidad y tipo de aditivo (ml)	Análisis
Composición química (%)				Las mezclas de cementos preparados: ca3, cb4, cc4 y cd3, con una adición del 20 % de puzolana la composición química no tiene mucha variación y cumple con la norma Inen 490
Análisis físico				
Fraguado inicial (min.)	> 45	115 148	1,5 - d3 1,0 - b4	Cemento patrón más dosis aditivo d3 Cemento patrón más dosis aditivo b4
Fraguado final (horas)	< 7	2,83 3,40	1,5 - d3 1,0 - b4	Cemento patrón más dosis aditivo d3 Cemento patrón más dosis aditivo b4
Contenido de aire (%)	≤ 12	2,7670 2,9009	1,5 - d3 1,0 - b4	Cemento patrón más dosis aditivo d3 Cemento patrón más dosis aditivo b4
Expansión o contracción en autoclave (%)	0,8 - 0,2	-0,0016 -0,0227	1,5 - d3 0,75 - a3	Cemento patrón más dosis aditivo d3 Cemento patrón más dosis aditivo a3
Blaine (cm2/g)	----	3514 3600	1,0 - b4 0,5 - c4	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo c4
Retenido malla n°325 (%)	----	20,91 18,07	1,0 - b4 1,5 - c4	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo c4 Los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la norma inen 490
Resistencias a la compresión				

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

1 día (mpa)	---	6,21 9,11	1,0 - b4 0,5 - c4	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo c4
3 días (mpa)	13	13,03 15,95	1,0 - b4 0,5 - c4	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo c4 Todos resultados cumplen satisfactoriamente con las resistencias mecánicas iniciales con la norma inen 490 que es de 13 mpa cuando se utiliza un 15 % de puzolana. Especialmente con el aditivo c (ruredil s.p.a. de italia) con las dosificaciones 0,5 ml
7 días (mpa)	20	20,23 22,02	1,0 - b4 1,5 - d3	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo d3 Todos resultados cumplen satisfactoriamente con las resistencias mecánicas iniciales con la norma inen 490 que es de 20 mpa cuando se utiliza un 15 % de puzolana, especialmente con el aditivo d (ruredil s.p.a. de italia) con las dosificaciones 1,5 ml
28 días (mpa)	25	32,17 38,18	1,0 - b4 0,5 - c4	Cemento patrón más dosis aditivo b4 Cemento patrón más dosis aditivo c4 Todos resultados cumplen satisfactoriamente con las resistencias mecánicas iniciales con la norma inen 490 que es de 25 mpa cuando se utiliza un 15 % de puzolana; especialmente con el aditivo c (ruredil s.p.a. de italia) con las dosificaciones 0,5 ml

Conclusiones

Las materias primas utilizados como material de adición al cemento, están dentro de los límites permitidos en cuanto a su composición, teniendo la calidad adecuada para ser molidos en conjunto con el clínker producido en la empresa. Así:

El yeso que contiene 41,92% SO₃ equivale al 90,13% Yeso. Para el yeso no hay Norma Técnica que especifique el porcentaje mínimo de pureza o SO₃, pero pasado el 90 % es de buena calidad.

La caliza con 79,75 % promedio CaCO₃ se encuentra dentro de los parámetros de las Normas Técnicas internas de la empresa, que debe contener por lo menos el 70 % en masa de una o más de las formas minerales de carbonato de calcio.

La puzolana que tiene un 65,74 % SiO₂ y un índice de actividad de 81,93% la cual está dentro de la Norma para Cementos Hidráulicos Compuestos, Requisitos-NTE INEN 490:2011 que permite un % mínimo a los 28 días de 75% de actividad.

Desarrollo de un método para aumentar las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda

El clinker que según el análisis gravimétrico contiene: 51,67 % de C3S, 27,79 % de C2S, 6,51 % de C3A y 10,92 % C4AF. Con las fases del clinker se obtuvo resistencias iniciales bajas debido a la poca cantidad de alita (C3S) y resistencias finales altas debido a las cantidades altas de Belita (C2S) principalmente.

Se investigaron 4 tipos de aditivos provenientes de 2 empresas distintas: Sika Ecuatoriana S.A. y RUREDIL S.P.A. de Italia.

Los aditivos fueron dosificados según las fichas técnicas de cada uno respectivamente, en el caso de los aditivos de SIKA se hizo la misma dosificación para ambos, obteniéndose los mejores resultados con el aditivo SIKAGRIND 109-EC, con una dosificación de 0,75 ml (A3), el cual dio un mejoramiento en la malla N° 325 de 16,7 % de retenido y finura, con resistencias iniciales a un día de 6,09 MPa y a 3 días de 9,9 MPa indicando un % de mejoramiento en las resistencias de 30 % aproximadamente.

La cantidad de puzolana máxima que es posible añadir a la molienda junto con el clinker que produce la empresa oscila entre 15 % - 18 %; utilizando el aditivo RGA K155 con una dosificación de 0,5 ml (C4) e incluso se puede utilizar el aditivo RGA S346 con una dosificación de 1,5 (D3) que fueron los más eficientes y capaces de satisfacer los requisitos de la norma NTE INEN 490:2011 para Cemento Portland Pozolánico IP.

Hay que tomar en cuenta que con 15 % de adición de puzolana las resistencias iniciales y finales empiezan a subir y con 25 % no se llega a cumplir con la Norma NTE INEN 490:2011 según la investigación.

La sustitución por puzolana del cemento portland reduce siempre la resistencia a edades tempranas aunque aumenta la resistencia a edades mayores, como se pudo evidenciar en los resultados de las resistencias cuando se añadió 25 % de puzolana; pero las resistencias iniciales no alcanzaron a cumplir con la Norma NTE INEN 490:2011 ya que las resistencias están ligadas directamente a las fases del clinker como la alita (resistencias iniciales) y belita (resistencias finales) las cuales le dan su calidad.

Como conclusión el aditivo más eficiente para la molienda del clinker que produce la empresa y eficiencia en el mejoramiento de la finura y resistencias es el aditivo RGA K155 de la empresa RUREDIL S.P.A. con una dosificación de 0,5 ml. (C4)

Recomendaciones

Si la empresa desea implementar en el proceso de molienda final a escala industrial uno de los aditivos investigados, se debe utilizar el aditivo RGA K155 proveniente de la empresa RUREDIL S.P.A. con una dosis de 0,5 (C4) ml del aditivo.

Se debe seguir realizando más investigaciones con otros aditivos de otras casas comerciales que existen en el mercado nacional e internacional.

Se debe realizar las mismas investigaciones con aditivos sólidos naturales como una caliza de más alto contenido de carbonato de calcio (> 90 %) o aditivos sintéticos

Referencias

1. BICZOCY. T., Química de los Cementos., 5a Ed., Bilbao – España., URMO.,1978., p. pp. 24 – 29.
2. DUDA, Walter H., Manual Tecnológico del Cemento., Técnicos Asociados. España., 1977., p. pp. 1 136.
3. LABAHN, Hy KOHLHAAS, L., Prontuario del Cemento., 5a Ed., Barcelona España., Técnicos Asociados., 1983., p. pp. 152.
4. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 490:2011)., Quinta revisión., Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.