



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO**

FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**MEJORAMIENTO DE LAS RESISTENCIAS INICIALES DEL
CEMENTO UTILIZANDO ADITIVOS SINTÉTICOS EN LA
MOLIENDA FINAL PARA LA EMPRESA CEMENTO
CHIMBORAZO C. A.**

CARLOS ALBERTO RIVADENEIRA MOSQUERA

RIOBAMBA - ECUADOR

2014



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO**

FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**MEJORAMIENTO DE LAS RESISTENCIAS INICIALES DEL CEMENTO
UTILIZANDO ADITIVOS SINTÉTICOS EN LA MOLIENDA FINAL PARA
LA EMPRESA CEMENTO CHIMBORAZO C. A.**

CARLOS ALBERTO RIVADENEIRA MOSQUERA

TESIS DE GRADO

**Previo a la Obtención del Título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**Ing. Mario Gustavo Villacrés Álvarez
DIRECTOR DE TESIS**

RIOBAMBA - ECUADOR

2014

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “MEJORAMIENTO DE LAS RESISTENCIAS INICIALES DEL CEMENTO UTILIZANDO ADITIVOS SINTÉTICOS EN LA MOLIENDA FINAL PARA LA EMPRESA CEMENTO CHIMBORAZO C. A.”, de responsabilidad del señor Carlos Alberto Rivadeneira Mosquera, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Silvio Álvarez L. DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
Ing. Mario Villacrés A. DIRECTOR DE LA ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA
Ing. Mario Villacrés. DIRECTOR DE TESIS
Ing. Hugo Calderón MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Eduardo Tenelanda. COORDINADOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN
Nota de Tesis Escrita	

Riobamba, 11 de junio de 2014

Yo, Carlos Rivadeneira, soy responsable de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO** y **EMPRESA CEMENTO CHIMBORAZO C. A.**

Dedico la presente tesis a mi madre Emma Mosquera y a mi padre Carlos Rivadeneira quienes con su entrega y sacrificio por sus hijos, nunca me han hecho faltar nada y se han hecho para mí, grandes ejemplos a seguir.

A mis queridos hermanos: Patricia y Antony, quienes han creído en mis habilidades y entrega, a cuales les debo mucho tiempo de felicidad vividos.

A mí querido abuelito Juan Mosquera, a mis primos en especial Cristian, Darwin y Dany y a mis tíos quienes han estado pendientes de mí.

Del mismo modo, dedico ésta investigación a todas las personas, quienes me han ayudado y apoyado de alguna u otra manera.

Este trabajo representa meses de dedicación y responsabilidad, pero no lo hubiese logrado sin el apoyo de personas que se han relacionado con su desarrollo, de ésta manera mi más sincera gratitud a todos quienes me han acompañado en esta larga jornada.

Primeramente agradezco a Dios quien es el ser más importante, por regalarme una oportunidad de vida, salud y por trazar el camino por los que mis pies se guían.

Agradezco a mis padres y a toda mi familia quienes participaron, directa e indirectamente de mi formación e inculcaron en mí ese valor tan importante como es la responsabilidad.

Agradezco de manera especial y sincera a los Docentes de la Escuela a quienes debo gran parte de mi conocimiento, en especial al Ing. Mario Villacrés y al Ing. Hugo Calderón por su aporte y participación en el desarrollo de esta tesis.

De la misma manera agradezco al Ing. Luis Quinteros por guiarme en el desarrollo de mi tema de investigación y a los trabajadores del Departamento de Control de Calidad de la Empresa Cemento Chimborazo C. A., en especial a la Dr. Margarita Ati, Tec. Silvia Ramos y Dr. Carmita Guacho quienes me han ayudado en la culminación de ésta investigación.

Expreso mi gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Química por darme la oportunidad de estudiar en tan prestigiosas aulas y poder ser profesional.

Agradezco a todas las personas que han formado parte de mi vida y me han brindado su amistad, consejo, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles.

RESUMEN

Se realizó el mejoramiento de las resistencias iniciales del cemento utilizando aditivos sintéticos en la molienda final para la Empresa Cemento Chimborazo C. A..

Para el desarrollo de la investigación; se empezó recolectando la cantidad necesaria de materias primas, realizando su caracterización y comprobando su calidad, luego se procedió a moler utilizando 66% de clínker Chimborazo, 25% de puzolana, 6% de caliza, 3% de yeso y más la dosificación del aditivo en un molino de bolas a escala de laboratorio para de ésta manera obtener Cemento Portland Puzolánico IP; a los mismos que se les realizó análisis físico-químicos para comparar su calidad con la norma NTE INEN 490 y determinar una eficiente dosificación de los aditivos. Como resultado se obtuvo que de los 4 aditivos investigados, el aditivo RGA/K155 con una dosificación de 0,05% de la masa total es el que mejores beneficios ofrece, tanto como en el % de mejoramiento de retenido en la malla N°325 con 18,67%, en el % de mejoramiento de las resistencias iniciales con 40% aproximadamente y en la mayor utilidad estimada para la empresa; también se pudo determinar que la cantidad máxima de puzolana que puede ser añadida a la molienda junto con el clínker y con el aditivo RGA K155 está en el rango de 15%-18% de la masa total a ser molida.

Se recomienda aplicar los resultados de la investigación para optimizar el proceso de producción y mejoramiento de la calidad del cemento específicamente en las resistencias a tempranas edades.

SUMMARY

Improving cement initial resistors by the means of synthetic additives in the final grinding was performed to Cemento Chimborazo Company C.A.

To develop this research; first, enough raw material was collected considering characterization and quality, then, the raw material was grinded by using 66% of clinker Chimborazo, 25% of pozzolana , 6% of limestone, 3% of plaster and plus the dosage of the additive in a lab scale ball grinder in order to obtain Puzolánico Portland Cement IP. A physic-chemical analysis was performed in order to compare its quality with the NTE INEN 490 norm and determine an efficient additive dosage. As a result it was obtained that from the four additives, the additive RGA/K155 with a dosage of 0,05% of the total offers the best benefits such as: the % of improvement retained on the net No 325 with 18,67%, the % of improvement of initial resistors with 40% approximately, and the major usefulness for the company. It was determined that the maximum quantity of pozzolana that can be added to the grinder with clinker and the additive RGA/K155 is between 15%-18% of the total mass to be grinded.

The application of the results of this research in order to optimize the production and improvement process of quality of the cement, specifically on the resistor at very begging ages.

CONTENIDO

Pág.

PORTADA

HOJA DE ACEPTACIÓN

HOJA DE REPOSABILIDAD

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

SUMMARY

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

LISTA DE CUADROS

LISTA DE REACCIONES

LISTA DE ANEXOS

LISTA DE ABREVIATURAS

INTRODUCCIÓN

24

ANTECEDENTES

25

JUSTIFICACIÓN

27

OBJETIVOS

28

1. MARCO TEÓRICO	29
1.1 Proceso de fabricación del cemento	29
1.1.1 <i>Etapa de trituración de las materias primas</i>	29
1.1.1.1 <i>Trituración primaria</i>	29
1.1.1.2 <i>Trituración secundaria</i>	29
1.1.1.3 <i>Molienda</i>	30
1.1.2 <i>Etapa de mezcla preparación del crudo</i>	30
1.1.2.1 <i>Homogeneización</i>	30
1.1.3 <i>Etapa de calcinación de polvo crudo</i>	30
1.1.3.1 <i>Precalcinación</i>	30
1.1.3.2 <i>Clinkerización</i>	30
1.1.3.3 <i>Enfriamiento del clínker</i>	31
1.1.4 <i>Etapa de molienda de producto calcinado</i>	31
1.1.4.1 <i>Molienda</i>	31
1.1.4.2 <i>Ensayado</i>	31
1.2 Materias primas en la fabricación del cemento	33
1.2.1 <i>Componente calcáreo o calizas</i>	33
1.2.2 <i>Componente arcillosos</i>	34
1.2.3 <i>Correctivos</i>	35
1.2.4 <i>Sufato de calcio (yeso)</i>	36
1.2.5 <i>Puzolanas</i>	36
1.2.5.1 <i>Tipos de puzolanas</i>	37

1.3 Elaboración de crudo	37
1.3.1 <i>Utilización de las materias primas en la fabricación de crudo</i>	37
1.3.2 <i>Fundamentos de la dosificación</i>	38
1.3.3 <i>Módulos</i>	40
1.3.3.1 <i>Estándar de cal (StC)</i>	40
1.3.3.2 <i>Módulo silícico (MS)</i>	41
1.3.3.3 <i>Módulo alumínico (MF)</i>	42
1.3.4 <i>Molienda de crudo</i>	42
1.4 Preparación de clínker	42
1.4.1 <i>Procesos químicos, mineralógicas y físicos en la etapa de clinkerización</i>	44
1.4.1.1 <i>Secado</i>	44
1.4.1.2 <i>Deshidratación de los minerales de la arcilla</i>	44
1.4.1.3 <i>Descomposición de los carbonatos</i>	44
1.4.1.4 <i>Reacciones entre fases sólidas (reacciones a temperaturas inferiores a las desinterización o clinkerización)</i>	45
1.4.1.5 <i>Reacciones en presencia de fase líquida-fundida (sinterización o clinkerización)</i>	46
1.4.1.6 <i>Reacciones durante el enfriamiento</i>	47
1.4.1.7 <i>Reacciones que influyen en el proceso de cocción</i>	48
1.4.2 <i>Fases del clínker</i>	49
1.4.2.1 <i>Alita (C₃S)</i>	49
1.4.2.2 <i>Belita (C₂S)</i>	50
1.4.2.3 <i>Fase alumínica</i>	51

1.4.2.4 <i>Fase ferrítica</i>	51
1.4.2.5 <i>Otras fases del clínker</i>	52
1.5 <i>Preparación del cemento</i>	52
1.5.1 <i>Molienda del cemento</i>	53
1.5.1.1 <i>La molienda en la producción del cemento</i>	54
1.5.1.2 <i>Sistemas de molienda</i>	54
1.5.1.3 <i>Llenado de cuerpos moledores y de material que sea de moler</i>	55
1.5.1.4 <i>Formación de películas en los cuerpos moledores</i>	56
1.5.2 <i>Tipos de cemento</i>	57
1.5.2.1 <i>Cemento portland puzolánico IP</i>	58
1.6 <i>Aditivos sintéticos</i>	60
1.6.1 <i>Sika ecuatoriana S.A.</i>	60
1.6.1.1 <i>SikaGrind® 109-EC</i>	60
1.6.1.2 <i>Sikagrind® 860</i>	61
1.6.2 <i>Ruredil S.p.A.</i>	61
1.6.2.1 <i>RGA/K155</i>	61
1.6.2.2 <i>RGA/S346</i>	62
1.7 <i>Muestreo y tipo de muestras</i>	62
1.7.1 <i>Muestra puntual</i>	62
1.7.2 <i>Muestra simple</i>	63
1.7.3 <i>Muestra compuesta</i>	63

2. PARTE EXPERIMENTAL	64
2.1 Muestreo	64
2.1.1 <i>Procedimiento de muestreo de materias primas</i>	64
2.1.1.1 <i>Muestreo de yeso</i>	64
2.1.1.1 <i>Muestreo de caliza</i>	64
2.1.1.1 <i>Muestreo de puzolana</i>	64
2.1.2 <i>Muestreo de clínker</i>	65
2.1.3 <i>Muestreo de cemento</i>	65
2.2 Métodos y técnicas	65
2.2.1 <i>Métodos</i>	65
2.2.1.1 <i>Método inductivo</i>	66
2.2.1.2 <i>Método deductivo</i>	66
2.2.1.3 <i>Método experimental</i>	66
2.2.2 <i>Técnicas</i>	66
2.2.2.1 <i>Análisis</i>	66
2.2.2.2 <i>Síntesis</i>	67
2.3 Análisis de laboratorio	67
2.3.1 <i>Análisis químico</i>	67
2.3.1.1 <i>Materias primas y cementos</i>	67
2.3.1.2 <i>Clínker</i>	67
2.3.1.3 <i>Determinación de cal libre</i>	70
2.3.1.4 <i>Determinación de residuo insoluble</i>	71

2.3.1.5 <i>Determinación de pérdida por calcinación</i>	71
2.3.2 <i>Análisis físicos</i>	72
2.3.2.1 <i>Determinación de la finura por vía seca</i>	72
2.3.2.2 <i>Determinación de la finura por el método de permeabilidad al aire: Blaine</i>	72
2.3.2.3 <i>Determinación de la expansión método del autoclave</i>	73
2.3.2.4 <i>Determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico</i>	78
2.3.2.5 <i>Determinación del tiempo de fraguado método de vicat</i>	79
2.3.2.6 <i>Determinación del contenido de aire en morteros</i>	81
2.3.2.7 <i>Determinación de la resistencia a la compresión</i>	84
2.3.2.8 <i>Determinación del índice de actividad puzolánica</i>	87
2.3.3 <i>Preparación del cemento patrón – CP</i>	88
2.3.4 <i>Preparación del cemento utilizando aditivos</i>	88
2.3.4.1 <i>Aditivo A - SikaGrind® 109-EC</i>	88
2.3.4.2 <i>Aditivo B - Sikagrind® 860</i>	89
2.3.4.3 <i>Aditivo C – RGA/K155</i>	90
2.3.4.4 <i>Aditivo D – RGA/S346</i>	90
2.3.5 <i>Preparación del cemento con variación de puzolana</i>	91
2.3.5.1 <i>Dosificación con 15% de puzolana</i>	91
2.3.5.2 <i>Dosificación con 20% de puzolana</i>	91
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	93
3.1 Resultados	93

3.1.1 <i>Análisis físico-químicos de materias primas</i>	93
3.1.1.1 <i>Composición química (yeso, caliza, puzolana)</i>	93
3.1.1.2 <i>Índice de actividad puzolánica</i>	95
3.1.2 <i>Análisis físico-químicos del clínker</i>	96
3.1.3 <i>Análisis físico-químicos del cemento portland puzolánico IP</i>	97
3.1.3.1 <i>Adición de aditivos sintéticos y naturales en la molienda final de cemento para mejoramiento de las resistencias</i>	97
3.1.4 <i>Costos y beneficios</i>	124
3.1.5 <i>Resultados de análisis en el molino de ensayos de la empresa HORMICRETO-Cuenca</i>	126
3.2 <i>Discusión de resultados</i>	130
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
4.1 Conclusiones	136
4.2 Recomendaciones	138
BIBLIOGRAFIA	140
ANEXOS	142

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Diagrama de obtención de cemento	32
2 Cantera de caliza	34
3 Cantera de arcilla	35
4 Molienda de circuito cerrado	55
5 Permeabilímetro	74
6 Comparador de longitudes	75
7 Soporte	76
8 Secuencia de ajuste	77
9 Diagrama de autoclave	78
10 Aparato de vicat	81
11 Orden de apisonamiento en el moldeo de los cubos de ensayo	85
12 % Retenido en malla N°325 con el aditivo A - SikGrind 109-EC	99
13 Blaine con el aditivo A - SikaGrind 109-EC	99
14 Resistencias mecánicas utilizando el aditivo A – SikaGrind 109-EC	100
15 % Retenido en malla N°325 con el aditivo B – SikaGrind 860	103
16 Blaine con el aditivo B – SikaGrind 860	103
17 Resistencias mecánicas utilizando el aditivo B – SikaGrind 860	104
18 % Retenido en malla N°325 con el aditivo C – RGA K155	107

19	Blaine con el aditivo C – RGA K155	107
20	Resistencias mecánicas utilizando el aditivo C – RGA k155	108
21	% Retenido en malla N°325 con el aditivo D – RGA S346	111
22	Blaine con el aditivo D – RGA S346	111
23	Resistencias mecánicas utilizando el aditivo D – RGA S346	112
24	Resistencias iniciales con las dosificaciones más eficientes de los aditivos	113
25	% Retenido en malla N°325 añadiendo 15% puzolana	116
26	Blaine añadiendo 15% puzolana	117
27	Resistencias mecánicas añadiendo 15% puzolana	118
28	% Retenido en malla N°325 añadiendo 20% puzolana	121
29	Blaine añadiendo 20% puzolana	121
30	Resistencias mecánicas añadiendo 20% puzolana	122
31	Costo al mes de cada aditivo (\$) para una producción de 30 TM/h	125
32	Beneficio total anual (\$) proyectado para cada aditivo	125
33	% Retenido en malla N°325 con el aditivo C y variación de puzolana	128
34	Blaine con el aditivo C y variación de puzolana	128
35	Resistencias mecánicas utilizando el aditivo C y dosificando la puzolana	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.	
1	Clasificación de las rocas de naturaleza caliza	33
2	Límite de la composición química de crudos de cemento (calcinados)	39
3	Ejemplos según el % CaCO ₃ en el crudo	40
4	Requisitos químicos – NTE INEN 490	59
5	Requisitos físicos – NTE INEN 490	60
6	Cantidad de materiales a dosificar para la elaboración de morteros	81
7	Cantidades a dosificar de material para elaboración de 6 y 9 morteros	84
8	Tolerancia permisible para ensayos de cubos	86
9	Dosificación de material para elaboración de morteros	87
10	Dosificaciones con el aditivo A - sikaGrind 109-EC	88
11	Dosificaciones con el aditivo B - SikaGrind 860	89
12	Dosificaciones con el aditivo C – RGA K155	90
13	Dosificaciones con el aditivo D – RGA S346	90
14	Análisis químico de materias primas	94
15	Índice de actividad puzolánica método del cemento	95
16	Análisis de clínker aplicando 2 métodos y mineralógico	96
17	Resultados con el aditivo A – SikaGrind 109-EC	97
18	Resultados con el aditivo B – SikaGrind 860	101

19	Resultados con el aditivo C – RGA K155	105
20	Resultados con el aditivo D – RGA S346	109
21	Resultados con dosificación de 15% puzolana	114
20	Resultados con dosificación de 20% puzolana	119
23	Costos y beneficios de los aditivos	124
24	Resultados de análisis en el molino de ensayos de la empresa HORMICRETO-Cuenca	126

LISTA DE CUADROS

	Pág.
1 Reacciones principales en la clinkerización	43
2 Tipos de cemento	57

LISTA DE REACCIONES

	Pág.
1 Formación de caliza de origen químico	33
2 Descarbonatación	45
3 Reacciones entre fases solidas	45
4 Reacciones en presencia de fase liquida	46
5 Expansión por cal	52

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
A NTE INEN 490:2011	142
B Molino de bolas para ensayos de la empresa HORMICREO-Cuenca (capacidad 25kg)	158
C Molino de bolas para ensayos de la empresa Cemento Chimborazo (capacidad 1kg)	159
D Almacenamiento de materias primas para la molienda final de los ensayos	160
E Ficha técnica. SikaGrind 109-EC	161
F Ficha técnica. RGA K155	162
G Ficha técnica. RGA S346	163

LISTA DE ABREVIATURAS

C= CaO

S= SiO_2

A= Al_2O_3

F= Fe_2O_3

M= MgO

Cs= $CaSO_4$

H= H_2O

N= Na_2O

K= K_2O

StC= Estándar De Cal

MS= Módulo Silícico

MF= Módulo Alumínico

C₂S= Silicato dicálcico

C₃S= Silicato tricálcico

μm= micrómetros

g= gramos

C₃A= Aluminato tricálcico

INTRODUCCIÓN

La industria del cemento es una de las de mayor crecimiento a nivel mundial. En los últimos años 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 sinterización de la dosificación de mezclas homogeneizadas de caliza y arcilla y de la calidad de este mineral depende la calidad del producto final, pues constituye aproximadamente el mayor porcentaje de su composición, dependiendo del tipo de cemento a producir para su respectivo despacho.

Dentro de las técnicas de control de calidad del cemento portland puzolánico IP está la determinación de la resistencia a la compresión, el cual es un parámetro a controlar del cemento comparándola con la norma NTE INEN 490:2011 para Cementos Hidráulicos Compuestos, Requisitos.

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, la molienda eficiente, relacionada con la finura está involucrada con las resistencias.

Para aumentar las resistencias mecánicas iniciales, se ha visto necesario la utilización de aditivos sintéticos, conocidos comúnmente como coadyuvantes de molienda, para el aumento de la producción, mejoramiento de la eficiencia de la molienda y aumento de las resistencias iniciales.

ANTECEDENTES

Anteriormente la cantidad de disponibilidad de materias primas de alta calidad en la zona interandina central del país y la excesiva demanda de cemento por parte del consumidor local y nacional, se hizo necesario que se instale la primera planta de producción de Cemento de la Región Interandina.

La Corporación de Fomento, actual Banco Nacional de Fomento una vez que valida la factibilidad para la producción de cemento, el 15 de Febrero de 1952 constituye legalmente la empresa Cemento Chimborazo Compañía Anónima, ubicada en San Juan Chico (provincia de Chimborazo), km. 14. En 1954 se ejecuta la construcción y montaje de la maquinaria para la producción de clínker en el horno # 1 de proceso húmedo.

La creciente demanda y los altos costos de producción determinaron la adquisición y montaje de una nueva fábrica de producción de clínker en 1971, utilizando el proceso seco. Su producción comienza en el primer trimestre de 1974. En este inicio de operación del horno # 2 también se instalaron sistemas de: preparación de la caliza, de pre-homogeneización, de molienda, de preparación de crudo y un sistema de molienda de cemento.

En la actualidad luego de varios cambios tecnológicos y adquisición de nuevos equipos, como nueva línea de molienda y despacho de cemento, la empresa propone alcanzar una capacidad de producción de 1 millón de Ton./año.

La Empresa Cemento Chimborazo C.A. produce Cemento Portland Puzolánico 1P, el cual satisface ampliamente las especificaciones de las Normas Técnicas: La Ecuatoriana NTE INEN 490:2011 quinta revisión y la Norma Norteamericana ASTM C-595, cuyas especificaciones son controladas y valorizadas en el área de control de calidad.

Es importante mencionar que la empresa aparte de ser una organización técnica, moderna y confiable, por la calidad de productos y servicios que ofrece al consumidor nacional, también se preocupa por la protección del medio ambiente y su contribución efectiva al desarrollo del país.

El 24 de octubre de 2013, la Superintendencia de Compañías aprobó la fusión de Industrias Guapán S.A. y Cemento Chimborazo C.A. y la creación como resultado de la fusión de la compañía de economía mixta UNIÓN CEMENTERA NACIONAL, UCEM C.E.M., que permitirá cumplir objetivos estratégicos, como son: influenciar positivamente en el mercado nacional del cemento y la búsqueda e incorporación de un socio estratégico que potencialice a la UCEM Compañía de Economía Mixta - C.E.M.

JUSTIFICACIÓN

El cemento es un aglomerante hidráulico y el principal ingrediente para la fabricación de los distintos tipos de hormigones y morteros, que funciona como si fuera un pegamento que uniera la arena y los áridos que lo componen.

El crecimiento de la población nacional e internacional aumenta y con ello la demanda de cemento para realizar construcciones, llevándonos a la urbanización. Por esta razón es necesario producir un cemento de calidad que satisfaga las necesidades de la población. Debido a la alta competitividad dentro del país de empresas cementeras, se ve la necesidad de ofrecer diversos tipos de cemento, siendo el más importante el cemento Portland Puzolánico IP, que cumplen ampliamente los requisitos de las Norma Técnicas Ecuatoriana – NTE INEN 490:2011 quinta revisión - CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS, REQUISITOS y por ende de las necesidades del consumidor.

El proyecto planteado tiene como justificación la necesidad de utilizar la dosificación del cemento portland puzolánico IP producido en la empresa y la adición a ello de un aditivo químico eficiente en la molienda final que permita mejorar el proceso de molienda e incrementar sus resistencias mecánicas, aprovechando el tiempo de endurecimiento a edades más cortas y con propiedades físicas y químicas que mantengan la calidad. Es necesario indicar que los aditivos utilizados en ésta investigación son fabricados dentro del país por la Empresa Sika Ecuatoriana S. A. y fuera del país por la Empresa RUREDIL S.p.A - ITALIA, cuyos costos de compra o de inversión no deben perjudicar el costo final de producción de cemento.

Los ensayos físicos y químicos utilizados para controlar el cemento portland puzolánico IP, son de gran importancia en ésta investigación, se realizarán en los laboratorios de la misma Empresa Cemento Chimborazo C. A., utilizando equipos de última tecnología, reactivos y las técnicas apropiadas para determinar cuidadosamente cada uno de los parámetros que exige la norma NTE INEN 490:2011.

OBJETIVOS

GENERAL

Mejorar las resistencias iniciales del cemento Portland Puzolánico 1P utilizando aditivos sintéticos en la molienda final para la Empresa Cemento Chimborazo C. A.

ESPECÍFICOS

- 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
- Establecer la relación costo/beneficio en la producción del cemento investigado para la empresa.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Proceso de fabricación del cemento

El proceso de fabricación del cemento consta de cuatro etapas básicas, todas y cada una de estas etapas, lleva un estricto control de calidad. A continuación se explicará de manera breve cada una de ellas.

1.1.1 *Etapas de trituración de las materias primas.*

1.1.1.1 *Trituración primaria.* La caliza transportada desde las minas es triturada en una trituradora de mandíbulas, llamada PRIMARIA que reduce a un tamaño promedio de 15 cm de diámetro. La caliza triturada es almacenada, de acuerdo a su calidad en forma de pilas o apilamientos, la una que contiene altos contenidos de carbonato de calcio de alrededor de 85% con otras calizas de baja calidad.

1.1.1.2 *Trituración secundaria.* En la siguiente etapa se dosifican químicamente las calizas de las dos pilas, de acuerdo a las instrucciones del laboratorio de control de calidad, para ser nuevamente trituradas en una trituradora de impacto, llamada secundaria. Aquí se reduce el tamaño de la caliza de 15 cm a un promedio de 12 mm de diámetro. La caliza que sale de la trituradora es almacenada mediante capas en una de las dos naves de prehomogeneización, de gran capacidad de almacenamiento, en donde la misma es prehomogeneizada por un equipo denominado rascador, a un determinado contenido promedio de CaCO_3 del 77,0 %; valor mínimo requerido para la elaboración del crudo. Posteriormente la caliza prehomogeneizada es alimentada utilizando bandas transportadoras, a las tolvas de la sección de molienda de crudo.

1.1.1.3 *Molienda.* El molino de crudo es un molino de bolas de acero, con dos cámaras, de circuito cerrado y con separador de aire convencional, la proporción de mezcla de caliza con arcilla y/o arena ferrosa depende de la calidad de la caliza y es continuamente determinada mediante un balance químico que realiza el laboratorio de control de calidad.

1.1.2 *Etapas de mezcla preparación del crudo.*

1.1.2.1 *Homogeneizaciones.* El material finamente molido se denomina crudo con un contenido de CaCO_3 entre el 76 y 77 %. El crudo es enviado a un silo de homogenización, llamado también Blending en donde mediante aire se lo mantiene en continua mezcla a fin de asegurar una composición uniforme; luego este material homogeneizado pasa a los silos de almacenamiento.

1.1.3 *Etapas de calcinación de polvo crudo.*

1.1.3.1 *Precalcinación.* De los silos de almacenamiento el crudo uniforme es enviado neumáticamente mediante bombas a la torre de precalcinación. La misma que consiste de cuatro etapas de ciclones, en ésta zona la temperatura de entrada es de 400-450°C, en donde el material crudo es precalentado en las etapas superiores con una temperatura 600-650°C aproximadamente; usando los gases de escape del horno de la etapa de clinkerización. En la parte inferior de la torre el material precalentado es parcialmente calcinado y descarbonatado debido a que se dispone de un quemador secundario de combustible, donde se alcanza una temperatura de 700-750°C aproximadamente, éste material ingresa al horno con una temperatura de 800 °C.

1.1.3.2 *Clinkerización.* Esta etapa se realiza en un horno rotativo. En la primera sección del horno se realiza la descarbonatación total del material y la formación de los diferentes óxidos, en la segunda zona aproximadamente a 20m de la entrada empiezan las reacciones de sinterización mediante las cuales se forma el clínker

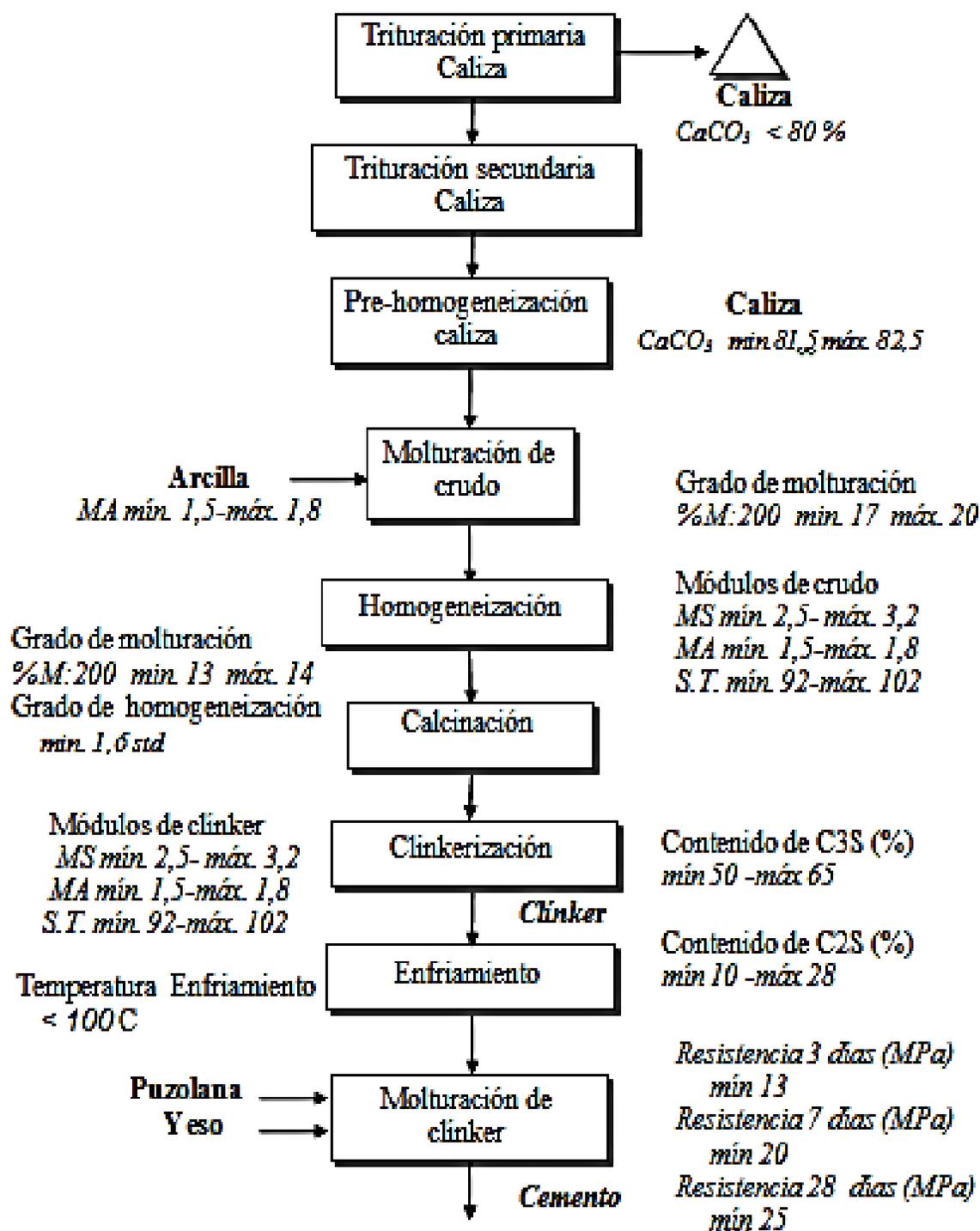
1.1.3.3 *Enfriamiento del clínker.* El clínker sale del horno a una temperatura aproximada de 1350-1450°C y cae a un enfriador de alta potencia, en donde es enfriada hasta una temperatura menor a 100°C. Del enfriador, el clínker pasa a un hangar de almacenamiento, mediante un transportador de cadena, desde donde es transportado mediante una banda transportadora a las tolvas de los molinos de cemento.

1.1.4 *Etapas de molienda de producto calcinado.*

1.1.4.1 *Molienda.* El clínker es molido en mezcla químicamente balanceada con sulfato de calcio (yeso) y puzolana; la cantidad de yeso a adicionarse es determinado por el laboratorio y no debe exceder del 5% y la cantidad que se añade de puzolana va a depender de la calidad del clínker obtenido.

1.1.4.2 *Ensacado.* El cemento es transportado neumáticamente a los silos de almacenamiento, para su despacho tanto en granel como en sacos.

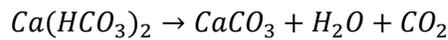
Figura 1. Diagrama de obtención de cemento



1.2 Materias primas en la fabricación del cemento

1.2.1 *Componente calcáreo o calizas.* Las calizas consisten principalmente en carbonato de cálcico (CaCO_3), en general en la forma de su modificación más estable: la calcita. Junto a ésta con frecuencia Mg, Al y Fe combinados en forma de carbonatos y silicatos, así como SiO_2 (ácido silícico o sílice, en su mayor parte como cuarzo).

Se trata generalmente de compuestos calizos de procedencia biógena o de precipitación química. Las calizas de origen químico se forman preferentemente en mares calientes, en los que pueden existir aguas de bajo contenido de CO_2 y sobresaturadas de cal, éste proceso de precipitación inorgánica transcurre según la ecuación:



Reacción 1. Formación de caliza de origen químico

El mármol es una caliza más densa, si bien de desarrollo macro cristalino, consistente principalmente en CaCO_3 que es la calcita. Se forma generalmente a partir de caliza por metamorfosis de la misma a altas presiones y temperaturas, particularmente en los procesos orogénicos, eso es, de formación de las montañas. A causa de su mayor dureza el mármol apenas se emplea como materia prima para la fabricación de cemento. Dentro de los tipos de caliza antes mencionados existen otras variedades intermedias o de transición.¹

Tabla 1. Clasificación de las rocas de naturaleza caliza

MATERIA	% CaCO_3
Caliza pura	> 95%
Caliza Margosa	85 – 95%
Marga Caliza	70 – 85%
Marga	30 – 70%
Marga Arcillosa	15 – 30%

¹ LABAHN, Hy KOHLHAAS, L., Prontuario del Cemento., 5a Ed., Barcelona-España., Técnicos Asociados., 1983, p. 152.

Arcilla Margosa	5 – 15%
Arcilla	< 5%

LABAHN/KOHLHAAS, Prontuario del cemento

Para la fabricación del cemento se prefiere una caliza con un contenido de 80 – 85 % de carbonato de calcio, a una caliza de alto grado de 90 – 95%. La primera es más fácil de moler y homogeneizar ya que contiene marga dispersa en la caliza y requiere menos material arcilloso para formar la mezcla cruda del cemento.

La empresa Cemento Chimborazo, se abastecía de esta materia prima de las minas: Cuiquiloma-Perfil 0 y Calerita que pertenecen a la misma empresa y se ubican en las comunidades: Comuna y Calerita respectivamente, de la provincia de Chimborazo. Actualmente la empresa se abastece de caliza, sólo de la mina de Cuiquiloma-Perfil 0. Aparte de ser materia prima para la formación de clínker, la caliza también es utilizada como un material de adición en la molienda final.

Figura 2. Cantera de caliza



Internet

1.2.2 *Componente arcilloso.* Las arcillas son sedimentos clásticos, es decir, constan principalmente de nuevas formaciones y de restos de rocas primarias. El tamaño de grano de sus componentes minerales es menor de 0,002mm y en su mayor parte proceden de sedimentación marina. Los constituyentes más esenciales de las arcillas son los minerales arcillosos (aluminosilicato). Las arcillas constan en su mayor parte de varios minerales arcillosos mezclados entre sí, como por ejemplo: illita, montmorillonita, caolinita, halloisita, de composición complicada:

- Montmorillonita : $Al_2(OH)_2Si_4O_{10} \cdot 4H_2O$
- Caolinita : $Al_4(OH)_8Si_4O_{10}$

Junto con los minerales arcillosos, las arcillas pueden contener otros constituyentes en proporciones apreciables: cuarzo (SiO_2 arena), calcita (CaCO_3), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hematites parda o limonita (FeOOH), pirita (FeSO_2), feldespato (aluminosilicatos), componentes carbonosos, etc. Pero siempre en forma finamente dividida y dispersa.

Las arcillas con cantidades apreciables de arena y principalmente de hematites y limonita, compuestos de hierro a los que deben su coloración pardo-amarillento, se denominan limos, mientras que las mezclas naturales de arcilla y cal son las llamadas margas.

En resumen, los componentes arcillosos consisten en minerales que contienen sílice (SiO_2), hierro (Fe_2O_3) y aluminio (Al_2O_3).

Para la empresa, ésta materia prima proviene de la provincia de Cañar de la mina particular Cochancay.

Figura 3. Cantera de Arcilla



Internet

1.2.3 *Correctivos.* En su mayoría las materias primas correctivas deben contener concentraciones relativamente altas de los óxidos, que deben ser los que faltan en el crudo; pero no deben introducir proporciones porcentuales apreciables como los óxidos perjudiciales de MgO , K_2O y de Na_2O .

Los correctivos ajustan la composición química del crudo y mejoran su aptitud para la sinterización. Con éste criterio se suelen añadir, los siguientes materiales:

- Arena cuarzosa que se utiliza para mejorar el SiO_2
- Mineral de hierro y arena ferrosa que ayuda a incrementar el Fe_2O_3
- Caliza de alto grado que sirve para incrementar el CaO
- Bauxita que sirve para incrementar el Al_2O_3

Se pueden añadir otros materiales según la necesidad y disponibilidad del material local. Se debe tomar en cuenta la proporción de otros compuestos minoritarios en los materiales correctores, éstos pueden ejercer influencias tanto positivas como negativas sobre las propiedades del clinker y/o cemento.

1.2.4 *Sulfato de calcio (yeso)*. En la molienda del cemento se añade siempre al clinker el sulfato de calcio conocido también como anhidrita II, a fin de regular el tiempo de fraguado, retardándolo adecuadamente. El retraso del fraguado es producido por una reacción del sulfato con el aluminato tricálcico que, en otro caso fraguaría muy deprisa, entonces mientras mayor sea el contenido de aluminato tricálcico mayor es la cantidad de yeso necesaria. Sin embargo cantidades demasiadas altas de sulfato en el cemento pueden dar lugar a fenómenos de expansión, por lo cual se establecen límites superiores, expresados en %SO₃ (trióxido de azufre), para el contenido de sulfato del cemento. Dependiendo del contenido de Aluminato Tricálcico (C₃A), de álcalis que tiene el clinker y de la finura de los cementos, existe para cada uno de éstos, un contenido óptimo de sulfato, que además pueden mejorar sensiblemente las resistencias.

En conclusión los cementos ricos en C₃A y alcális, y al mismo tiempo molido muy finamente, el contenido óptimo de sulfato suele estar alrededor de 5% en masa. Los cementos molidos gruesos, escasos de C₃A y pobres en alcális precisan de un 2,5 a un 3% en masa de Trióxido de Azufre (SO₃).

El yeso que utiliza la empresa puede ser: Yeso EDESA o Yeso Libertad. El yeso EDESA es un desecho de los moldes utilizados en la empresa del mismo nombre y es el que se utilizó para los ensayos de ésta investigación. El yeso Libertad proviene de una mina particular ubicada en la península de Santa Elena. Actualmente la empresa se abastece de yeso EDESA.

1.2.5 *Puzolana*. Las puzolanas son aditivos naturales que reaccionan con el hidróxido cálcico a temperaturas ordinarias dando como resultado productos capaces de desarrollar resistencias (endurecimiento hidráulico).

La condición esencial para la buena calidad de las puzolanas, es que contengan SiO₂ y Al₂O₃ en gran proporción y en la forma más reactiva posible, a fin de que puedan combinarse con la cal Ca(OH)₂. La calidad de la puzolana es determinada con la actividad

puzolánica. La sílice amorfa de estos materiales, una vez en estado de fina división, pueden reaccionar a la temperatura ordinaria, fijando hidróxido de calcio y dando lugar a la formación de compuestos estables de carácter aglomerante.

La empresa se abastece de esta materia prima proveniente de la mina particular Los Pinos ubicada en la provincia de Tungurahua.

1.2.5.1 *Tipos de puzolanas.*

1.2.5.1.1 *Puzolanas naturales de origen mineral.* Como las puzolanas: volcánicas de Italia (Lacio, Campania), de Grecia (Isla de Santorín), de España, las Tobas de Baviera, Renania, Rumania, Rusia, de los Estado Unidos (también llamadas Transs) y las Pumitas o Piedra pómez del Eiflél (Bins)

1.2.5.1.2 *Puzolanas naturales de origen orgánico (animal o vegetal).* Como las: Diatomitas o tierra de diatomeas (Tripoli, Kiesselguhr), Conchas de Radiolarios, Espongiolitas (Espículas de esponjas) y Gaize (espículas de esponjas y cemento ópalo). Estas puzolanas naturales son depósitos, casi siempre de origen marino, de esqueletos o caparazones silícicos de microorganismos.

1.2.5.1.3 *Puzolanas artificiales.* Se trata de ciertos materiales finos o molidos, mejorados gracias a un tratamiento térmico apropiado de entre 750 – 850°C. Éste tratamiento elimina al agua y modifica la estructura del material. Entre ellas tenemos las cenizas volantes, arcillas activadas o calcinadas artificialmente, cenizas de residuos agrícolas.

1.3 Elaboración de crudo

1.3.1 *Utilización de las materias primas en la fabricación de crudo.* Como se explicó anteriormente, los principales componentes para la fabricación del cemento son: las

calizas que aportan mayoritariamente con CaO y las arcillas que aportan con SiO₂, Fe₂O₃ y Al₂O₃. Ambas deben mezclarse según sus propias composiciones químicas y la composición requerida para la mezcla. Sin embargo no solamente es decisiva la composición global de ésta última, sino también la finura y la homogeneidad de las materias primas y de la mezcla de las mismas –CRUDO-, dado que las reacciones durante el proceso de la cocción transcurren entre las fases individuales presentes en dicho material crudo. A mayor superficie es capaz de reaccionar y a mayor homogeneidad tiene una mejor distribución de las fases minerales que corresponden a mayores velocidades de las reacciones entre sólidos por difusión.

Hay que indicar, que las mezclas de materias primas extremas (caliza pura y arcilla pura) no se comportan adecuadamente en cuanto a su reactividad en el proceso de cocción.

Las calizas contienen a veces dolomita [CaMg(CO₃)₂], con lo cual aportan MgO al crudo. Hay que tener en cuenta la expansión por magnesio cuando el contenido de MgO es superior al 5% en el cemento. El componente aportador de SiO₂, Fe₂O₃ y Al₂O₃ es por lo general de naturaleza arcillosa y también materias primas que contienen arena, como por ejemplo, margas o caliza arenosas. A veces estos componentes introducen en el crudo concentraciones perjudiciales de: álcalis como K₂O y Na₂O, expresados como Na₂O y de sulfatos como expresados en SO₃ y más raramente de cloruros. Éstos compuestos pueden ocasionar dificultades durante la cocción, a causa de la intensificación de ciertos procesos cíclicos y de la formación de anillos en el horno. Cuando no es posible alcanzar la composición química deseada para el crudo con los dos componentes antes mencionados, caliza y arcilla, es necesario añadir pequeñas cantidades de otras materias primas de corrección, que se mencionó anteriormente.

1.3.2 *Fundamentos de la dosificación.* Para la fabricación de cemento es preciso disponer de forma natural, u obtener de forma artificial, de mezclas de materias primas cuya composición química esté comprendida entre ciertos límites. La producción continua de cemento de alta calidad sólo es posible, en primer lugar, si el crudo tiene una composición química óptima y en segundo lugar, si esta composición oscila entre límites lo más estrechos posible, es decir un rango de diferencia diminuta. La siguiente tabla se refiere a los límites en la producción de muy diversas fábricas de cemento:

Tabla 2. Límites de la composición química de crudos de cemento (calcinados)

Óxidos	Límites (% Masa)	Contenidos Medios (% Masa)
<i>CaO</i>	60 – 69	65
<i>SiO₂</i>	18 – 24	21
<i>Al₂O₃</i>	4 – 8	6
<i>Fe₂O₃</i>	1 – 8	3
<i>MgO</i>	< 5	2
<i>K₂O , Na₂O</i>	< 2	1
<i>SO₃</i>	< 3	1

LABAHN/KOHLHAAS, Prontuario del cemento

Es importante saber que el crudo en la fabricación de clínker tiene lugar una disminución de peso, dado que en el proceso de cocción se desprenden los constituyentes volátiles de los crudos particularmente CO_2 de la caliza y H_2O de la arcilla. El dióxido de carbono se desprende de la caliza, así:

$$500 \text{ partes de } CaCO_3 = 56 \text{ partes de } CaO + 44 \text{ partes de } CO_2 \quad \text{Ec. 1.3.2 – 1}$$

Del componente arcilloso del crudo se desprende además, aproximadamente un 7% de agua de hidratación de los constituyentes orgánicos, etc.

Para calcular las cantidades de materiales partiendo de contenidos diferentes de $CaCO_3$ en el crudo se puede utilizar las siguientes formulas:

$$a = 1 - \left(\frac{0,44 \times CaCO_3\%}{100} + \frac{0,07 \times (100 - CaCO_3\%)}{100} \right) \quad \text{Ec. 1.3.2 – 2}$$

$$b = \frac{1}{a} \quad \text{Ec. 1.3.2 – 3}$$

$$c = \frac{CaCO_3\% \times 56}{a \times 100} \quad \text{Ec. 1.3.2 – 4}$$

a = kg de clínker por cada kg de crudo

b = kg de crudo por cada kg de clínker

c = %CaO en el clínker

Tabla 3. Ejemplos según el %CaCO₃ en el crudo

%CaCO ₃ en el crudo	74	75	76	77	78	79	80	81	82
kg de clínker /1 kg de crudo	0,656	0,652	0,649	0,645	0,641	0,638	0,634	0,630	0,627
kg de crudo /1kg de clínker	1,524	1,533	1,541	1,550	1,558	1,567	1,577	1,587	1,596
%CaO en el clínker	63,2	64,4	65,6	66,9	68,1	69,3	70,6	71,9	73,2

Carlos Rivadeneira

Tomando en cuenta las pérdidas del material que tienen lugar en el proceso de fabricación, en la práctica se considera que son necesarios de 1,5 – 1,6 kg de crudo seco para obtener 1kg de clínker.

En la práctica la composición del crudo como la del clínker, se designa y caracteriza en la mayor de los casos mediante relaciones de los módulos, para cuyo cálculo se utilizan los porcentajes de los óxidos determinados por análisis químico.

Para el cálculo del contenido óptimo de cal del crudo raramente se utiliza el llamado módulo hidráulico, dado por la siguiente fórmula:

$$MH = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad \text{Ec. 1.3.2 - 5}$$

Hoy en día se emplean los siguientes módulos:

1.3.3 Módulos.

1.3.3.1 *Estándar de cal (StC)*. Un contenido elevado de cal en el crudo permite que durante la cocción se formen las fases del clínker más ricas en cal, las cuales poseen las propiedades más favorables, particularmente por lo que respecta al desarrollo de las resistencias del cemento, si bien es preciso que el contenido total de esa cal se encuentre combinado con los llamados factores hidráulicos (*SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃*).

Si hubiese un exceso de cal no combinada en el clínker se formaría cal libre como CaO, ésta podría dar lugar, por reacción posterior del cemento con el agua, daños en los morteros u hormigones a causa de fenómenos de expansión. Por lo tanto, el contenido óptimo de cal debe ser alto, pero no excesivo.

El estándar de cal sirve precisamente para fijar éste contenido óptimo de cal. En la fórmula del estándar de cal figura la cal realmente existente en crudo o en clínker expresada en porcentaje de la máxima cantidad de cal que, en condiciones técnicas de cocción y de enfriamiento, puede combinarse con los factores hidráulicos disponibles para formar las fases del clínker más ricas en cal. Así pues un contenido óptimo de cal corresponde a un estándar de cal $StC = 100$, dado por las fórmulas:

$$StC I = \frac{100CaO}{2,8SiO_2+1,1Al_2O_3+0,7Fe_2O_3} \quad \text{Ec. 1.3.3.1. - 1}$$

Debida Kuhl, o por la fórmula:

$$StC III = \frac{100(CaO+0,75MgO)}{2,8SiO_2+1,18Al_2O_3+0,65Fe_2O_3} \quad \text{Ec. 1.3.3.1. - 2}$$

Debida a Spohn, Woerman y Knöfe. La cual tiene en cuenta que el magnesio MgO, puede sustituir hasta 2% en masa de cal (CaO), por lo tanto en ésta segunda expresión el estándar de cal sólo se pueden tener en cuenta contenidos de MgO hasta 2%, si el contenido de MgO fuese mayor, el segundo término del paréntesis debería tener el valor constante de 1,5; sin que éste se multiplique por dicho contenido de MgO mayor que 2%. También se puede añadir en el numerador el término adicional de $-0,75SO_2$, si se quiere tener en cuenta la posible formación de $CaSO_4$.

El estándar de cal de los clínkeres técnicos llamados industriales, suele estar comprendido entre 90 – 102, siendo > 97 en los de muy alta calidad.

1.3.3.2 *Módulo silícico (MS)*. O sílice o de silicatos. Es la relación entre sílice SiO_2 (óxido de sílice), y Al_2O_3 (alúmina) y Fe_2O_3 (óxido férrico):

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3+Fe_2O_3} \quad \text{Ec. 1.3.3.2. - 1}$$

Éste módulo caracteriza la relación entre sólido y líquido en la sinterización ya que el SiO_2 predomina ampliamente en las fases sólidas (alita y belita) a la temperatura de sinterización, mientras que, por el contrario, la alúmina y el óxido férrico predominan en la fase líquida (el fundido). En los cementos técnicos a nivel industrial, el módulo silícico se halla comprendido, en general, entre 1,8 – 3,0.

1.3.3.3 *Módulo aluminico (MF)*. O férrico o de fundentes. Es la relación entre los óxidos de aluminio y de hierro.

$$MF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad \text{Ec. 1.3.3.3. - 1}$$

Este módulo caracteriza la composición de la fase fundida, ya que a la temperatura de sinterización ambos óxidos se encuentran casi en su totalidad, contenidos en dicha fase. Cantidades crecientes de óxido férrico, y por lo tanto valores decrecientes del módulo, suponen una disminución de la viscosidad del fundido. Para valores $MF < 0,638$ deja de formarse la fase aluminato tricálcico (C_3A) del clínker; los cementos exentos de C_3A presentan una elevada resistencia química a los ataques por sulfatos. En los cementos técnicos - industriales el módulo aluminico oscila, en general, entre 1,3 - 4; y más frecuentemente entre 1,8 - 2,8. En cementos especiales pueden descender hasta valores alrededor de 0,4.

1.3.4 *Molienda de crudo*. Para la preparación del crudo, se dispone de un molino de bolas en circuito cerrado con separador de aire, aquí se muele la caliza prehomogeneizada con cantidades adecuadas de mezclas de arcillas hasta conseguir un crudo químicamente balanceado.

El crudo así obtenido es enviado a un silo de mezcla, en donde el material es homogeneizado mediante aire comprimido hasta obtener un crudo totalmente homogéneo. Del silo de mezcla el crudo es enviado a cualquiera de los dos silos de almacenamiento.

La producción continua de cemento de alta calidad solo es posible, si el crudo tiene una composición química óptima y un buen control de los parámetros de operación del proceso.

1.4 Preparación de clínker

Para fabricar clínker de cemento a partir de material crudo es preciso calcinar éste hasta una temperatura de 1450°C, alcanzando así la sinterización o clinkerización. El proceso de cocción exige una atmósfera oxidante dentro del horno, ya que en caso contrario se obtiene un clínker de color pardo y el cemento resultante presenta un fraguado más

rápido y resistencias más bajas. Durante el calentamiento del crudo, y particularmente a la temperatura de cocción, sinterización o clinkerización tienen ya lugar importantes procesos fisicoquímicos.²

Cuadro 1. Reacciones principales en la clinkerización

TEMPERATURA °C	PROCESO	TRANSFORMACIÓN QUÍMICA
< 200	Secado. Eliminación del agua libre.	
100 – 400	Eliminación del agua absorbida.	
400 – 750	Descomposición de la arcilla con formación de metacaolinita	$Al_4(OH)_8Si_4O_{10} \rightarrow 2(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) + 4H_2O$
600 – 900	Descomposición de la metacaolinita y otros compuestos con formación de una mezcla de óxidos reactivos.	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2$
600 – 1000	Descomposición de la caliza con formación de CS y CA	$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ $3CaO + 2SiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow 2(CaO \cdot SiO_2) + CaO \cdot Al_2O_3$
800 – 1300	Fijación de cal por CS y CA con formación de	$CaO \cdot SiO_2 + CaO \rightarrow 2CaO \cdot SiO_2$

² LABAHN, Hy KOHLHAAS, L., Prontuario del Cemento., 5a Ed., Barcelona-España., Técnicos Asociados., 1983, p. 166.

	C ₄ AF	$2CaO + SiO_2 \rightarrow 2CaO \cdot SiO_2$ $CaO \cdot Al_2O_3 + 2CaO \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3$ $CaO \cdot Al_2O_3 + 3CaO + Fe_2O_3$ $\rightarrow 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$
1250 – 1450	Nueva fijación de cal por C ₂ S	$2CaO \cdot SiO_2 + CaO \rightarrow 3CaO \cdot SiO_2$

LABAHN/KOHLHAAS, Prontuario del cemento

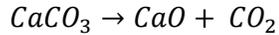
1.4.1 Procesos químicos, mineralógicas y físicos en la etapa de clinkerización.

1.4.1.1 *Secado*. El agua libre o no combinada presente como humedad en el crudo o añadida al mismo, por ejemplo en el proceso de granulación, se desprende en un intervalo de temperatura que alcanza hasta unos 200°C.

1.4.1.2 *Deshidratación de los minerales de la arcilla*. A temperaturas comprendidas entre 100 – 400°C, aproximadamente los minerales de la arcilla ceden su agua absorbida, incluida el agua interlamina. A temperaturas superiores y dependiendo de los tipos de minerales arcillosos presentes en la arcilla, es decir, entre unos 400 y 750°C, se desprende también el agua combinada químicamente en forma de grupos hidroxilo, proceso llamado deshidratación.

En la deshidratación de las arcillas, influyen diversos factores, tales como el tipo de minerales arcillosos, la naturaleza y cantidad de las impurezas, el tamaño de las partículas, el grado de cristalización de las arcillas, la atmósfera gaseosa, y otros.

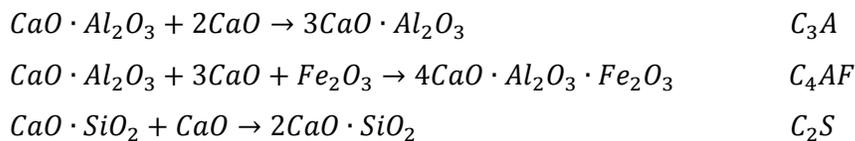
1.4.1.3 *Descomposición de los carbonatos*. El carbonato cálcico contenido en el crudo en proporciones comprendidas entre 74 – 79% en masa, se descompone por disociación, descarbonatación o calcinación a temperaturas teóricamente iguales o superiores a 896°C, según la ecuación:



Reacción 2. Descarboxatación

A éstas temperaturas, la presión de disociación es igual o mayor que 1, es decir, por lo menos igual a la presión externa. Para ello es necesario un entalpía de reacción $\Delta H=1660$ kJ/kg. La temperatura de 896°C solo se refiere a la calcita pura y sólo es válida para ella; al aumentar la proporción de impurezas o adiciones mezcladas con ella lo que sucede en los crudos de cemento, la disociación se desplaza hacia temperaturas más bajas. En la práctica la disociación comienza a los 550 – 600°C. Ello es debido a procesos químicos entre el CaO que se forma y las adiciones de SiO_2 , Fe_2O_3 y Al_2O_3 para los cuales se originan, por ejemplo: en primer lugar, $CaO \cdot Al_2O_3$ (CA), $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ ($C_{12}A_7$), $CaO \cdot SiO_2$ (CS) y $2CaO \cdot SiO_2$ (C_2S), por reacción en estado sólido. El contenido de cal libre CaO es, por lo tanto, escaso por debajo de 800°C, menor a 2% en masa, aumentando hasta al rededor del 20% a temperaturas mayores.

1.4.1.4 *Reacciones entre fases sólidas (reacciones a temperaturas inferiores a las de sinterización o clinkerización).* Como ya queda indicado, a partir de temperaturas comprendidas entre 550 – 600°C comienzan a producirse reacciones entre sólidos, por las cuales se combinan los productos de descomposición del $CaCO_3$ con los de la arcilla, formándose primero y preferentemente compuestos de menor contenido de cal, por ejemplo: aluminato monocálcico CA y silicato bicálcico C_2S . La formación de C_3A y de ferritoaluminato tetracálcico [$2CaO(Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3) = C_2AF$], también presentes en el clinker del cemento portland, comienza a unos 800°C aproximadamente, reacciones:



Reacción 3. Reacciones entre fases sólidas

Las reacciones entre sólidos transcurren en general muy lentamente, pero se pueden acelerar, en particular por:

- Reducción del tamaño de partículas, aumentando la superficie específica
- Aumento de la temperatura de cocción
- Distorsión de las redes cristalinas

1.4.1.5 Reacciones en presencia de fase líquida –fundida. (sinterización o clinkerización).

La primera formación de la fase líquida – fundida, la cual indica el comienzo de la <sinterización> o en el caso de la fabricación del cemento <clinkerización>, tiene lugar a temperaturas comprendidas entre 1260 - 1310°C , aproximadamente. Al aumentar la temperatura, aumenta también la fase líquida o fundida, alcanzando alrededor del 20 – 30% en masa a 1450°C, dependiendo de la composición química del material, por ejemplo al crecer el MS, disminuye la proporción de fase líquida. A estas temperaturas es ya posible la formación del silicato tricálcico (C_3S), constituyente principal del clínker de cemento portland.

Al comienzo de la clinkerización existen aún cantidades considerables de CaO sin combinar, junto con silicatos bicálcico C_2S . En presencia de la fase líquida se disuelven el CaO y el C_2S , facilitándose dentro de ella la difusión de los reactantes y formándose el silicato tricálcico (C_3S), según la reacción:



Reacción 4. Reacción en presencia de fase líquida

La formación del valioso silicato tricálcico es el objeto principal del proceso de la clinkerización. Justifica la necesidad de utilizar altas y costosas temperaturas de clinkerización. Al mismo tiempo, la fase líquida activa y también otras reacciones, como por ejemplo las que afectan a las partículas relativamente gruesas de caliza o de cuarzo. Los silicatos tricálcico y bicálcico (C_3S y C_2S) se encuentran como fases sólidas en el fundido. A temperaturas superiores a 1450°C, éste contiene la totalidad de Al_2O_3 y Fe_2O_3 del clínker en formación y su composición % en masa es, aproximadamente la siguiente: 56% CaO , 7% SiO_2 , 23% Al_2O_3 y 14% Fe_2O_3 . A la temperatura de clinkerización se establece un estado de equilibrio. La viscosidad de la fase líquida es tanto menor en cuanto menor es el módulo alumínico, férrico o de fundentes, es decir, cuanto mayor es el contenido de Fe_2O_3 . Los constituyentes secundarios o minoritarios influyen también en la viscosidad de la fase líquida, aumentándola, por ejemplo, los álcali; disminuyéndola, por el contrario, el SiO_2 y el MgO. Las reacciones de la fase líquida se pueden acelerar, especialmente por:

- Aumento de la proporción de dicha fase
- Disminución de su viscosidad
- Reducción de la proporción de partículas gruesas, especialmente cuarzo en el crudo.

1.4.1.6 *Reacciones durante el enfriamiento.* Si el clínker formado en el proceso de sinterización se enfría lentamente, puede invertirse el sentido de las reacciones de equilibrio, con lo cual se puede disolver en la fase líquida una parte del silicato tricálcico que tan decisiva influencia favorable tiene en el desarrollo de las resistencias. Por consiguiente un enfriamiento demasiado lento produce una disminución de resistencias del cemento. En un enfriamiento rápido, el cual es deseable, se <congela> el equilibrio, y en particular la fase líquida que participa en el mismo, con independencia de las fases líquidas presentes en él, de forma que la composición del clínker enfriado técnicamente es prácticamente similar a la alcanzada a la temperatura de clinkerización. Al contrario de las fases líquidas ricas en SiO_2 , las cuales en su mayor parte se solidifican en forma vítrea, las fases líquidas aluminoferríticas del clínker portland, ricas en cal, cristalizan totalmente el proceso técnico de fabricación del cemento, a pesar de su enfriamiento rápido. Por consiguiente, el clínker técnico de cemento portland representa un equilibrio de fusión congelado a la temperatura de sinterización. El enfriamiento influye además en el estado de cristalización, y a través del mismo en la reactividad de las fases del clínker, así como en la propia textura de éste. Por ejemplo, un enfriamiento rápido da lugar a cristales muy finos e íntimamente entremezclados de aluminato tricálcico (C_3A) y de ferriotaluminato tetracálcico [$C_2(A, F)$], los cuales reaccionan lentamente con agua.

Otros efectos producidos por el enfriamiento rápido son:

- Mejor molturabilidad por la existencia de fisuras tensionales en el clínker
- Menor proporción de alita disuelta y, por lo tanto, mayor cantidad de alita en el clínker
- Mayor estabilidad de volumen por menor expansión para contenidos de $MgO \geq 2,5\%$ al haber una mayor proporción de MgO en disolución sólida en las restantes fases del clínker y permanecer mayor cantidad de MgO libre, llamada periclasa en forma de microcristalina.

Por otra parte, un enfriamiento excesivamente rápido en todo el intervalo de temperatura desde la de clinkerización hasta la temperatura ambiente – templado, da lugar a disminuciones de las resistencias del cemento, si bien por otra parte se han observado aumentos de resistencia al someter al clínker a un templado corto. La velocidad de enfriamiento en la zona de temperaturas más elevadas parece ser el factor más decisivo. La velocidad de enfriamiento del clínker una vez que éste ha salido del horno y, por lo tanto el tipo de enfriador: planetario o de satélites, o de parilla parece no tener una influencia apreciable en la resistencia del cemento.

1.4.1.7 *Factores que influyen en el proceso de cocción.* Las reacciones antes mencionadas se hallan condicionadas por factores: químicos, mineralógicos y físicos.

1.4.1.7.1 *Composición química.* La composición química de los crudos de alimentación de los hornos tiene una gran influencia en el tiempo requerido para la cocción de los mismos. Se puede definir este tiempo como el necesario para que, a una temperatura determinada, un crudo de finura prefijada se cueza en tal medida que sólo quede en él un 2% en masa de cal libre. El tiempo de cocción se alarga al aumentar el StC, el MS y el MF, si bien la influencia de este último es escasa.

Los óxidos alcalinos en proporciones superiores a 0,5% en masa, actúan retrasando la combinación de la cal en el proceso de cocción; mientras que, por el contrario, contenidos de MgO menores de 2% en masa y de SiO_3 menores de 1% en masa, actúan acelerándola.

1.4.1.7.2 *Composición mineralógica.* Ésta composición influye, por ejemplo, en la aptitud de los crudos para la granulación y en la cantidad de agua necesaria para las pastas crudas. Los constituyentes mineralógicos del crudo también modifican, entre otras cosas, el comportamiento del crudo en la cocción y el consumo específico de calor necesario para la misma.

Factores que influyentes son en particular las arcillas, según el tipo de sus constituyentes mineralógicos, así como el cuarzo macrocristalino, si bien las distorsiones de las redes cristalinas, las impurezas e inclusiones de los cristales, el tamaño de éstos, el crecimiento intercristalino, la mezcla natural de fases y las adiciones en las materias primas, y otros factores, son influyentes.

1.4.1.7.3 *Tamaño de las partículas.* Las velocidades de las reacciones dependen en general del tamaño de las partículas, es decir, de las superficies reactivas disponibles, por lo cual la finura del crudo debe ser tal que en el proceso de cocción puedan reaccionar lo más completamente posible, incluso las partes más gruesas del mismo. Esta condición la cumplen por lo general los crudos de cemento con residuos máximos de 5 – 20% en

masa sobre el tamiz 90um, dependiendo de su composición y del empleo de fundentes y mineralizadores, en su caso.

1.4.1.7.4 Homogeneidad. Éste factor en el crudo es condición indispensable para obtener un clínker uniforme y para seguir una marcha regular del proceso de cocción. A este respecto se debe tener la garantía de que el crudo posee su composición representativa invariable en toda su masa, incluso en volúmenes pequeños del mismo como menor a 1mm^3 . Si no es así, se forma en el clínker <nidos, racimos> o agrupaciones locales de fases distintas. Estas agrupaciones pueden consistir, por ejemplo, en acumulaciones de cal libre por una parte, dando lugar a fenómenos expansivos en la hidratación y por otra parte en acumulaciones de silicato bicálcico llamados nidos de belita. Ambas acumulaciones darían lugar, en el caso de un material crudo homogéneo, al silicato tricálcico (alita), más valioso y conveniente. Los llamados mineralizadores como por ejemplo: fluoruro cálcico CaF_2 <espató flúor> pueden afectar favorablemente al proceso de cocción.

En conclusión, el comportamiento del crudo en proceso de cocción, depende de los siguientes factores:

- Composición química como el estándar de cal, módulo silícico, módulo de fundentes, fase líquida y mineralizadores.
- Composición mineralógica
- Granulometría, en particular referida a los tamaños máximos de partículas
- Condiciones de la cocción, relacionada con: la velocidad de calentamiento especialmente para temperaturas superiores a 1100°C , temperatura máxima de cocción y tiempo de permanencia del crudo a dicha temperatura.

El resultado del proceso de cocción es el clínker de cemento portland, formado por las correspondientes fases del mismo.

1.4.2 Fases del clínker.

1.4.2.1 Alita (C_3S). El silicato tricálcico puro no se encuentra como tal en el clínker, si no que incluye otros óxidos ajenos a su composición, como, por ejemplo, hasta 2% en masa

de MgO, junto con Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 y otros. Las cantidades de estos óxidos presentes en el silicato tricálcico dependen particularmente de la composición del clínker, de la temperatura de cocción y del proceso de enfriamiento. La inclusión de iones extraños en la alita modifica las propiedades de ésta; por ejemplo, aumenta en general su resistencia. Enfriado lentamente por debajo de $1250^\circ C$, el silicato tricálcico se puede descomponer en CaO y C_2S , especialmente si contiene iones Fe^{2+} como consecuencia de una cocción en condiciones reductoras.

La alita es cuantitativamente el constituyente más importante del cemento portland, pero también lo es desde el punto de vista de las propiedades del cemento y en particular de la más importante de ellas: el desarrollo de las resistencias. Para que se forme alita en el proceso de cocción es preciso que tenga lugar la sinterización³.

1.4.2.2 *Belita* (C_2S). Tampoco se encuentra puro en el clínker, ya que así mismo contiene otros óxidos incorporados. La belita se halla principalmente en estado sólido a la temperatura de clinkerización, y sólo en pequeñas proporciones en los clínkeres con alto estándar de cal. El desarrollo de su resistencia es lento, si bien a largo plazo llega a alcanzar resistencias tan grandes por lo menos como las de la alita. La modificación β de la belita, que es la que predomina en el clínker, se puede transformar a la temperatura ambiente en la modificación γ , que es la más estable, pero que apenas es hidráulica (inversión β - γ). En esta transformación se produce un aumento de volumen del 10% aproximadamente, el cual es la causa de la desintegración del clínker. No obstante, esta inversión se puede evitar, esto es, se puede estabilizar la belita β mediante la inclusión de iones extraños dentro de su red, así como por enfriamiento rápido. Con la tecnología actual de la fabricación de cemento no cabe esperar la desintegración del clínker.

Las fases alumínicas y ferríticas microcristalinas son consideradas frecuentemente como <masa intersticial o matriz>. Ambas se forman a partir de la fase líquida o fundida del clínker, en el enfriamiento de éste.

³ LABAHN, Hy KOHLHAAS, L., Prontuario del Cemento., 5a Ed., Barcelona-España., Técnicos Asociados., 1983, p. 180

1.4.2.3 *Fase aluminica.* También la fase aluminica (C_3A en su estado puro) contiene iones extraños. En ella es posible la inclusión de álcalis (Na_2O , K_2O) en proporciones que exceden del 5% en masa. La fase aluminica posee una capacidad de reacción muy alta, la cual se incrementa aún más por la inclusión de álcalis. Se han señalado y descrito las fases NC_8A_3 y KC_8A_3 . A fin de frenar la reacción de la fase aluminica al comienzo de la hidratación, es preciso añadir a cada cemento algún sulfato (yeso) para retardar el proceso del fraguado.

Junto con la alita y la belita, la fase aluminica puede contribuir a aumentar ligeramente la resistencia del cemento a corto plazo a causa del elevado calor de hidratación. No obstante, sus propiedades hidráulicas intrínsecas son escasas. También se puede presentar el compuesto heptaaluminato dodecálcico ($C_{12}A_7$) en la fase aluminica.

1.4.2.3 *Fase ferrítica.* La fase ferrítica no posee una composición química constante, sino que constituye un miembro de una serie de disoluciones sólidas como cristales mixtos que teóricamente se extienden desde el C_2A al C_2F (si bien el C_2A no existe):

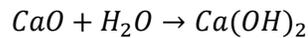


Según sea la disponibilidad de hierro o de aluminio, respectivamente, los miembros de la disolución sólida se sitúan más del lado de la serie rico en hierro o del lado rico en aluminio. La composición de esta fase frecuentemente corresponde más o menos al compuesto C_4AF , en el caso del clinker de cemento portland. La fórmula general representativa de la serie es $C_2(A,F)$, o $C_2A_pF_{1-p}$. La fase férrica contiene igualmente iones extraños incluidos. Es la fase que comunica su color al cemento, ya que el $C_2(A,F)$ puro es pardo, y el $C_2(A,F)$ que contiene MgO es verde grisáceo oscuro. La fase ferrítica reacciona muy lentamente y carece de importancia significativa directa a efectos de las propiedades del cemento.

⁴ LABAHN, Hy KOHLHAAS, L., Prontuario del Cemento., 5a Ed., Barcelona-España., Técnicos Asociados., 1983, p. 182.

1.4.2.5 Otras fases del clínker.

1.4.2.5.1 *Cal libre CaO*. La mayor parte de los clínkeres contienen cal libre CaO que es la cal no combinada en proporción $\leq 2\%$ en masa. Es debida, bien sea a una inadecuada preparación del crudo, demasiado grueso o inhomogéneo; bien a una cocción insuficiente, tal que no permita su combinación con otros óxidos; bien a un enfriamiento lento, que posibilita la descomposición del C_3S y del C_3A , o bien, finalmente, a un contenido demasiado alto de StC III > 100 . La cal libre es indeseable, ya que en concentraciones altas aproximadamente mayores al 2,5% en masa, puede causar expansión en los morteros y hormigones, proceso llamado expansión por cal.



1 volumen ~2 volúmenes

Reacción 5. Expansión por cal

1.4.2.5.2 *MgO libre (Periclasa)*. Los clínkeres ricos en MgO pueden contener periclasa. Dado que en las otras fases del clínker puede haber combinado aproximadamente de un 2,0 – 2,5% MgO en disolución sólida. La proporción de MgO combinada con otras fases depende de la composición química del clínker y de las condiciones de su fabricación. La periclasa es indeseable, puesto que, en proporciones altas, puede producir una expansión semejante a la de la cal (expansión por magnesia). Esta expansión es más maligna que la de la cal, pues a veces sus daños no son detectados sino al cabo de años.

La periclasa microcristalina y uniformemente repartida produce expansiones menores que las causadas por cantidades iguales de la misma cuando se presenta en forma macrocristalina y localmente acumulada en <nidos>. Esto mismo es igualmente válido por lo que respecta a la cal libre y a la expansión que produce. En raros casos se pueden encontrar también en el clínker, si bien en muy pequeñas cantidades, sulfatos alcalinos y fase vítrea.

1.5 Preparación del cemento

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto

con el agua. El cemento amasado con agua se endurece tanto al aire como bajo agua, en la cual mantiene su resistencia.

Para preparar el cemento, la empresa realiza diferentes dosificaciones de materias primas, especialmente de puzolana y clínker, los porcentajes de yeso y caliza no suelen variar mucho, el yeso suele mantenerse en un porcentaje de 3-5% y la caliza hasta un 6% de la masa total en la molienda. Debido a que la adición máxima posible de puzolana depende de la calidad del clínker producido por la empresa y del clínker comprado a otras empresas (clínker importado). Entonces los parámetros que determinan la calidad del cemento ayudarán a realizar y ajustar las dosificaciones en la molienda final.

1.5.1 *Molienda del cemento.* Alrededor del 85% del total de la energía invertida en la producción de cemento, corresponde al desmenuzamiento y a la molienda de las materias primas y del cemento; aproximadamente el 75% sólo a la molienda.

De acuerdo con interpretaciones muy diversas, la energía que el molino requiere para transformarla en trabajo de desmenuzamiento queda situada entre el 2 – 20% , el resto se distribuye en rozamiento de las partículas entre sí, rozamiento de las partículas con las paredes del molino, ruido, calor, vibración, rendimientos del motor y del molino, elevación del material en el molino, etc. La energía aplicada a la molienda se puede considerar baja en relación con las ventajas del resultado tecnológico que con ella se obtiene.

Los molinos de bolas y de tubo son cilíndricos de aceros rotatorios, en donde se realiza el desmenuzamiento del material por el movimiento de los cuerpos moledores. Por el giro del cilindro del molino, el montón formado por los elementos moledores y el material se eleva hasta un valor óptimo para su acción molturadora. La molienda se realiza por choque y rozamiento de los cuerpos moledores y las paredes blindadas del molino.

A efectos de la eficiencia del molino son de importancia las magnitudes siguientes:

- Velocidad de rotación óptima, correspondiente al diámetro del molino.
- Cantidad y tipo de los cuerpos moledores
- Tamaño del recinto de molienda
- Molturabilidad del material⁵

⁵ **DUDA, Walter H.**, Manual Tecnológico del Cemento., Técnicos Asociados., España., 1977., p. 71

1.5.1.1 *La molienda en la producción de cemento.* En la producción del cemento no se trata de conseguir que el proceso de molienda llegue hasta una superficie específica demasiado grande, sino que el producto molido cumpla determinadas leyes relativas a la granulometría del producto para crear con ello las mejores condiciones para los procesos de endurecimiento. La tecnología de la molienda del cemento se basa en los conocimientos siguientes: la fracción granulométrica de 3 – 30 μ m es decisiva para el desarrollo de las resistencias mecánicas del cemento. La fracción menor de 3 μ m solo contribuye a las resistencias iniciales, esa fracción se hidrata rápidamente y después de un día suministra las resistencias más altas a la compresión y a la flexotracción. La fracción por encima de 60 μ m se hidrata muy lentamente y solo representa un papel secundario en la resistencia el cemento. En los cementos, la fracción granulométrica de 3 - 30 μ m ha de estar presente en las siguientes proporciones:

- En cemento corriente: 40 – 50%
- En cemento de alta resistencia: 55 – 65%
- En cementos de resistencia más alta: > 70%

Estas cifras únicamente sirven como datos de referencia o partida, pues, para el desarrollo de las resistencias además de la estructura granulométrica también es decisiva la composición mineralógica. Finuras de molienda muy altas (del orden de 5000 cm²/g según Blaine) ya no influyen en el crecimiento de las resistencias, sino por el contrario originan la disminución de aquella.

1.5.1.2 *Sistemas de molienda.* En la industria del cemento existen tres sistemas principales de molienda:

- Molinos de circuito abierto
- Molinos de circuito cerrado
- Molinos de barrido a base de aire.

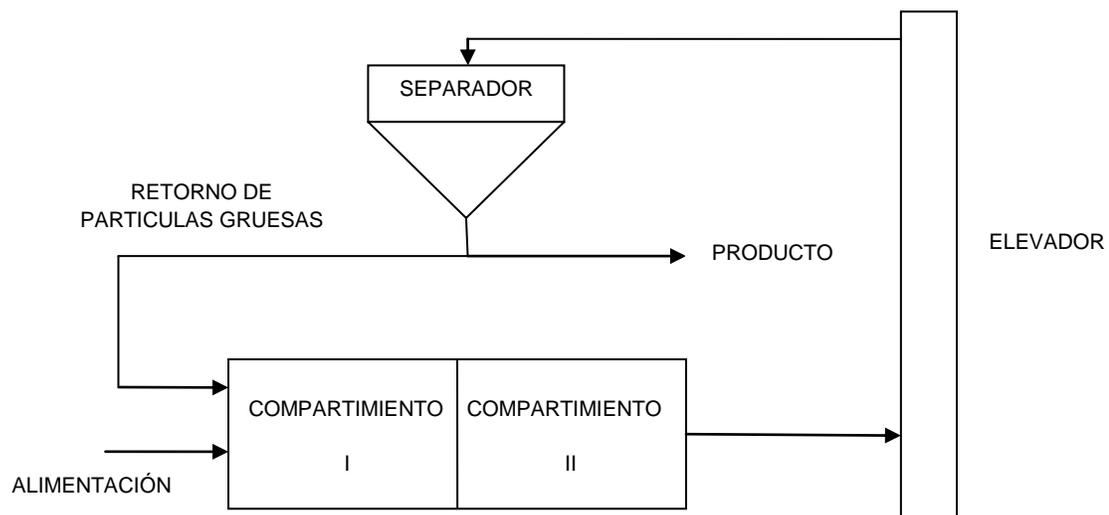
La empresa Cemento Chimborazo utiliza molinos de circuito cerrado de tal manera que se pondrá gran importancia y detalle en éste tipo de sistema de molienda.

1.5.1.2.1 *Molinos de Circuito Cerrado.* Son en general molinos de 2 compartimientos, los que se detallan a continuación:

- *Compartimiento I*: Los elementos mayores de molienda son usados en el compartimiento de trituración.
- *Compartimiento II*: Los elementos de molienda más pequeños son usados en el compartimiento de molienda de finos.

Una vez que el material ha pasado por el molino, es llevado a un separador donde es dividido en dos fracciones, siendo la fracción más fina el producto final. La fracción más gruesa es regresada al molino para otra molienda. Cuando se llega al estado estacionario, el ritmo de producción es igual al ritmo de alimentación. En la molienda de circuito cerrado se puede moler una gama de productos más amplia que en el caso de molienda de circuito abierto, sin que los elementos que realizan dicha molienda produzcan un efecto perjudicial en el cilindro.

Figura 4. Molienda De Circuito Cerrado



Tesis de Grado

1.5.1.3 *Llenado de cuerpos molidores y de material que se ha de moler.* Para la máxima utilización de la energía, la relación de la carga de cuerpos molidores a la de material que se ha de moler debe ser coordinada entre sí y ciertamente teniendo en cuenta la finura de molienda; esa relación ha de ser tanto mayor cuanto mayor sea la finura del material molido. Existen diferente teorías sobre el llenado de cuerpos molidores, según:

- a) *Mardulier*, llama al cociente de la carga de bolas, por la carga de clínker relación $S(\text{acero}):C(\text{clínker})$ y recomienda que el valor óptimo de la relación de S/C debe

estar comprendido entre 8,1 – 10,1 para alcanzar la máxima superficie en el cemento por unidad de energía consumida.

b) *Scherer*, da un ejemplo que la relación de S:C es 8,75, como ejemplo: 70 Ton de cuerpos moledores y 8 Ton de material que se ha de moler.⁶

1.5.1.4 *Formación de películas en los cuerpos moledores.* La formación de películas sobre los cuerpos moledores se produce por la consolidación de material finamente molido en su superficie, lo cual elimina el efecto molturador. La formación de películas sobre los cuerpos moledores, son originados por:

- Electricidad Estática: En el molino las partículas más finas están cargadas con electricidad estática, debido a la molienda de materiales diferentes, unas partes están cargadas positivamente y otras negativamente; las que están con signo distinto se atraen y por ello se aglomeran.
- Energías Superficiales: Es posible que no esté totalmente saturada la valencia de los átomos o de los grupos atómicos en la superficie de los sólidos, y por ello se pueden engendrar campos no homogéneos en esas superficies.
- Absorción: Las partículas individuales absorben una envoltura de aire en la superficie; esta envoltura impide la reunión de partículas. Si por cualquier circunstancia desaparece la envoltura de aire, entonces las partículas se reúnen mucho más rápido.
- Empaquetamiento Mecánico: Según esta teoría los cuerpos moledores chocan, con tal impulso, entre sí que el material queda estampado sobre la superficie rugosa del cuerpo molidor.

Es importante conocer que no basta una sola teoría para explicar la formación de la película sobre los cuerpos moledores. Factores que contribuyen a la formación de películas en la molienda:

- a) La formación de películas aumentan con la temperatura.
- b) La molienda conjunta del clinker con el yeso muestra alta tendencia a impedir la formación de películas sobre los cuerpos moledores; por el contrario, la molienda

⁶ **DUDA, Walter H.**, Manual Tecnológico del Cemento., Técnicos Asociados., España., 1977., p. 75

del clínker con yeso deshidratado provoca la formación de películas en los cuerpos molidores.

- c) El clínker almacenado muestra mayor tendencia a la formación de películas sobre los cuerpos de molienda que el recién producido. Sin embargo, el clínker almacenado suele ser más fácilmente molturable que el recién fabricado y por la consiguiente extinción de la cal libre. La extinción o apagado de la cal libre debilita o destruye la estructura del clínker, porque al aparecer hidratación de la cal durante el almacenamiento se produce expansión. Se ha molido clínker almacenado y recién fabricado en condiciones iguales y durante el mismo número de vueltas del molino. La comparación de los números Blaine mostraron que el clínker almacenado tenía mayor superficie específica, 4405 cm²/g, mientras que el clínker recién fabricado mostró 3340 cm²/g.
- d) Las superficies rugosas de las bolas de molienda producen películas de material, mientras que las lisas no lo hacen.⁷

1.5.2 Tipos de cemento.

Cuadro 2. Tipos de cemento

Cemento	Características
<i>Aluminoso</i>	Se obtiene de la molienda de clínker aluminoso con la posible adición de otros materiales adecuados.
<i>Albañilería</i>	Se obtiene por la pulverización conjunta de clínkerPórtland y materiales que, aun careciendo de propiedades hidráulicas y puzolánicas, mejoran la plasticidad y la retención de agua, tienen alta trabajabilidad y endurecimiento.
<i>Hidráulico</i>	Es un cemento que fragua y endurece por interacción química con el agua y que también es capaz de hacerlo bajo el agua.

⁷ **DUDA, Walter H.**, Manual Tecnológico del Cemento., Técnicos Asociados., España., 1977., p. 112

<i>Natural</i>	Es un cemento hidráulico, obtenido de caliza arcillosa natural, calcinada hasta una temperatura bajo el punto de sinterización y finamente molido.
<i>Hidráulicos Compuestos</i>	Se obtiene de la pulverización conjunta o mezcla íntima y uniforme de cemento Pórtland con escoria o puzolana o ambas
<i>Hidráulicos Compuestos Pórtland</i>	Se obtiene por la pulverización de clínkerPórtland, con la posible adición durante la molienda de una o más de las formas de sulfato de calcio y/u otros materiales adecuados en proporciones que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto.
<i>Pórtland puzolánico</i>	Consiste en una mezcla íntima y uniforme de cemento pórtland y puzolana fina, producida sea por molienda de clínker de cemento pórtland y puzolana, finamente dividida, en la cual el constituyente puzolana está entre el 15 y el 40% en masa del cemento pórtland puzolánico.
<i>Pórtland puzolánico modificado</i>	Consiste en una mezcla íntima y uniforme de cemento pórtland y puzolana fina, producida sea por molienda de clínker de cemento pórtland y puzolana, finamente dividida, en la cual el constituyente puzolana es menor que el 15% en masa del cemento pórtland puzolánico modificado.

NTE INEN 151:2010

1.5.2.1 *Cemento portland puzolánico IP.* Los requisitos que debe cumplir éste cemento hidráulico compuesto, se encuentra en la Norma Técnica Ecuatoriana – NTE INEN 490:2011 quinta revisión - CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS, REQUISITOS. Donde se especifica que el Cemento Portland Puzolánico, debe ser un cemento hidráulico, en el cual, el constituyente puzolana se encuentra hasta el 40% en masa del cemento compuesto.

Requisitos para el Cemento Portland Puzolánico IP:

Tabla 4. Requisitos químicos - NTE INEN 490

TIPO DE CEMENTO	IP
Óxido de Magnesio (MgO), % máximo	6,0
Sulfato, reportado como (SO ₃), % máximo	4,0
Sulfuro, reportado como S ²⁻ , % máximo	--
Residuo Insoluble, % máximo	--
Pérdida por calcinación, % máximo	5,0

NTE INEN 490:2011

Tabla 5. Requisitos físicos – NTE INEN 490

TIPO DE CEMENTO	IP
Finura	--
Expansión en autoclave, % máximo	0,80
Contracción en autoclave, % máximo	0,20
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat:	
Fraguado, minutos, no menor a	45
Fraguado, horas, no mayor a	7
Resistencia a la compresión, mínimo, MPa	
3 días	13
7 días	20
28 días	25
Calor de hidratación máximo	
7 días, cal/g	70
28 días, cal/g	80
Requerimientos de agua, % máximo, en peso del cemento	--
Contracción por secado, % máximo	--
Expansión en mortero, % máximo:	
14 días	0,02
8 semanas	0,06
Resistencias a los sulfatos, % máximo:	
Expansión a 180 días	0,1
Expansión a 1 año	--

NTE INEN 490:2011

1.6 Aditivos sintéticos

1.6.1 *Sika ecuatoriana S.A.* Sika Ecuatoriana S.A. fue fundada en Quito en 1986, como parte de las compañías del grupo de Sika Finanz AG. Hoy cuenta con cerca de 200 empleados en tres oficinas regionales: Guayaquil, Quito y Cuenca. Tiene su planta de producción, ubicada en Durán (Provincia del Guayas), con la cual supe las necesidades del mercado de la construcción en el país. Sika Ecuatoriana S.A. cuenta con una amplia red de distribuidores y aplicadores autorizados en todo el país, complementando el sistema de mercadeo de los productos Sika.

Con su Departamento de Investigación y Desarrollo busca siempre responder a las necesidades particulares de cada mercado, como un compromiso primordial con sus clientes. Los aditivos utilizados para la investigación son:

1.6.1.1 *SikaGrind®-109 EC.*

Descripción: SikaGrind 109-EC es un aditivo de molienda con acelerador de fraguado, reductor de agua y compuestos mejoradores de resistencia. La acción química de SikaGrind 109-EC disminuye la atracción interpartícula entre los granos de cemento tanto en estado seco como en el agua e incrementa la velocidad de hidratación del cemento.

Ventajas:

- * Incrementa la resistencia inicial y a largo plazo, obteniéndose cementos de mejor calidad.
- * Reduce los costos de producción del cemento a través de la reducción de los costos unitarios de molienda y a través del reemplazo de clinker por adiciones reactivas como puzolana, escoria de alto horno y ceniza volante, o por adiciones de fillers.
- * Incrementa la eficiencia de la molienda resultando una mayor productividad, mayor finura del cemento y una reducción de la energía y costo unitario de molienda.
- * Incrementa la trabajabilidad (fluidez) de los morteros y hormigones.
- * Su efecto antiapelmazante en el producto final, facilita el procesado y manipulación posteriores, tales como bombeo, extracción de silos y ensacado.

Aplicación / Dosis: La dosis típica de SikaGrind 109-EC está en el rango de 1 a 2.5 kg por tonelada de cemento producida (0.1% - 0.25% del peso total=clinker+adiciones).

1.6.1.2 *SikaGrind® 860*. Para éste aditivo no hay información, ni ficha técnica, pero la empresa pidió una muestra para pruebas de ensayo que tenga la misma función que el aditivo SikaGrind 109-EC.

1.6.2 *Ruredil S.p.A.* La compañía Ruredil, nació a principios de los años 50, tuvo un crecimiento continuo y constante que le ha permitido obtener un profundo conocimiento de la industria y una experiencia valiosa en el edificio de servicios. A la luz de estos conocimientos técnicos, hoy Ruredil está en el mercado con una completa gama de productos y soluciones tecnológicamente avanzadas, capaces de satisfacer todas las necesidades de la industria de la construcción y por lo tanto se convierten en el socio ideal para los diseñadores, los negocios, el comercio minorista , prefabricados y concreto. Los productos son desarrollados a través de la investigación y el estudio en profundidad del problema y su solución, con una gran inversión en el Centro de Investigación, que ha obtenido patentes en segmentos importantes en el tiempo la tecnología de última generación, tales como refuerzos estructurales. Una organización técnica-comercial generalizada ayuda a los diseñadores y los clientes en la selección de materiales y su uso. Crucial también es el enfoque en las necesidades del cliente, que le permite ofrecer productos y soluciones que satisfagan las necesidades reales del mercado. Ruredil SpA es capaz de responder a todas las necesidades del mercado de la construcción con sus marcas: RUREDIL, Levocell, RURMEC. Ruredil promociona sus productos en el exterior, a través de su empresa vinculada: Rurcem. Los aditivos utilizados para la investigación son:

1.6.2.1 *RGA / K155*.

Descripción: RGA / K155 es un aditivo de molienda de alta eficiencia para el cemento puro. Puede ser agregado a tasas de dosis bajas, es libre de cloruro. RGA / K155 es particularmente adecuado para el cemento portland y cemento portland compuesto con piedra caliza. También puede ser útil para moler o bien cemento puzolánico o cemento con escoria.

Ventajas: RGA / K155 debido a su formulación particular muestra un gran efecto de dispersión en seco mediante la reducción de las fuerzas interactivas entre los artículos de cemento. Esto conduce a un mejor rendimiento y la eficiencia del proceso de molienda.

Dosis sugerida y el punto de entrada: La dosis sugerida es usualmente verificada por prueba industrial adecuada con el fin de maximizar la salida de molino. El intervalo de dosificación normalmente es: 0,2 - 0,6 kg / t de cemento. El producto debe ser añadido en el molino a través del dispositivo adecuado o sobre la cinta transportadora del clínker.

1.6.2.2 RGA / S346.

Descripción: RGA/S346 es muy eficaz como mejorador de las resistencias tempranas y de ayuda de desbaste para el cemento. Proporciona ambas propiedades gracias a su complejión y acciones catalíticas ejercidos sobre el cemento y a una acción dispersante hecha en partículas de cemento, para mejorar la capacidad de molienda de cemento al tiempo que reduce su tendencia a la aglomeración. RGA/S346 se recomienda para los cementos Portland compuestos (L, P, M, tipos), puzolánicos y los cementos de escoria.

Ventajas: RGA/S346 mejora las resistencias tempranas gracias a una acción catalítica proporcionadas por iones de cloruro que contiene. En la parte superior de este, su formulación, que contiene alcanolaminas saponificados, es capaz de proporcionar una acción de dispersión en la fase seca en partículas de cemento, obteniendo de este modo una mejora del proceso de rectificado que se hace más eficaz y económica desde el punto de vista del consumo de energía.

Dosis sugerida y el punto de entrada: RGA/S346 dosis recomendada es de entre 1,5 y 3,0 kg / tonelada de cemento. Para individualizar un nivel de dosificación más precisa es importante para determinar el nivel de mejora de las primeras resistencias requeridas por el usuario. La dosificación está, por supuesto, también influenciado por el proceso de molienda planta y por el tipo de cemento que se va a tratar.

El producto debe ser añadido en el molino a través del dispositivo adecuado o sobre la cinta transportadora de clínker.

1.7 Muestreo y tipo de muestras

La toma de muestra se clasifica en tres tipos:

1.7.1 *Muestra puntual.* Es la cantidad de material extraída al azar de un lote y representativo de la calidad del mismo. Éste método fue utilizado para el muestreo de: caliza, yeso y puzolana.

1.7.2 *Muestra simple*. Es una porción de un material extraída de forma continua a intervalos de tiempo. El clínker producido en la empresa fue muestreado por un tiempo determinado.

1.7.3 *Muestra compuesta*. Es la mezcla de muestras simples extraídas de un mismo lote. Una vez obtenido la cantidad necesaria de clínker se procedió aplicar éste tipo de muestreo para homogenizarlo.

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Muestreo

2.1.1 *Procedimientos de muestreo de materias primas.*

2.1.1.1 *Muestreo de yeso.* El yeso EDESA (YP: Yeso Patio, fue muestreada en un solo día es decir fue recolectada la cantidad necesaria de yeso para todos los diferentes aditivos con sus variadas dosificaciones. Se recolectó y se homogenizó aproximadamente 3kg de yeso patio en la empresa Cemento Chimborazo C. A, de la fecha 21/08/2013, a la cual se trituró y se procedió a secar lentamente sin perder sus propiedades. Luego se hizo sus respectivos análisis para encontrar su composición. Aplicación del muestreo puntual.

2.1.1.2 *Muestreo de caliza.* La caliza de CUIQUILOMA-PERFIL 0, recolectada y homogenizada la cantidad necesaria de caliza para todos los diferentes aditivos con sus variadas dosificaciones. Se recolectó aproximadamente 6kg de caliza nave (CAN) de la fecha 18/09/2013, en la empresa Cemento Chimborazo C. A., a la cual se hizo sus respectivos análisis para encontrar su composición. Se aplicó el muestreo puntual.

2.1.1.3 *Muestro de puzolana.* La Puzolana Los Pinos, recolectada y homogenizada la cantidad necesaria de puzolana para todos los diferentes aditivos y varias dosificaciones. Se recolectó aproximadamente 35kg de puzolana que entraba al molino ALLIS, es decir la puzolana previamente seca. Esta puzolana corresponde a la fecha 19/09/2013 en la empresa Cemento Chimborazo C. A.. Así mismo se realizó los análisis para determinar su composición y calidad. Aplicación del muestreo puntual.

2.1.2 *Muestreo de clínker.* El clínker como materia principal en la molienda final del cemento fue muestreada durante varios días, es decir, recolectada la cantidad necesaria de clínker que luego fue homogenizada para todos los diferentes aditivos con sus variadas dosificaciones. De ésta manera se recolectó aproximadamente 100kg de clínker de la fecha 16-27/09/2013 procedente de la salida del enfriador de clínker (cadena, que corresponde al conocido clínker horno CLH) en la planta N°2 de la empresa Cemento Chimborazo C. A. a la cual se hizo sus respectivos análisis para encontrar su composición.

El clínker es un material semielaborado que ha sido tamizado por las mallas N°4 (4,75mm) y N°5 para su posterior molienda. Se aplicó el muestreo simple, pasando luego al compuesto.

2.1.3 *Muestreo de cemento.* Las muestras del cemento preparado serán obtenidas en el molino de bolas a escala de laboratorio en la empresa Cemento Chimborazo C. A. que se encuentra ubicada en la vía a Guayaquil km. 14 panamericana sur de Riobamba. En el proceso de molienda se utilizó cantidades dosificadas a un 1kg que es la capacidad del molino, la relación con los cuerpos moledores es: 10kg de cuerpos moledores/ 1kg de materia a moler (relación 10). El tiempo de molienda es 1h. Todos los materiales antes de ser molido deben ser triturados y pasados por el tamiz N°4 (4,75mm) y el cemento ya molido debe ser tamizado por la malla N°20. Por último, como se relazaron 2 moliendas debe homogenizarse para su posterior análisis. Después se realizaron los análisis físicos y químicos de las muestras de cementos obtenidos el mismo día de su molienda para determinar su calidad. Las pruebas de caracterización se realizaron en el Laboratorio de control de calidad de la empresa. Aplicación de un muestreo puntual.

2.2 Métodos y técnicas

2.2.1 *Métodos.* Para el cemento obtenido se realizaron 2 moliendas que luego fueron homogenizadas, correctamente identificadas y etiquetadas. Se llevaron al laboratorio de control de calidad en la misma planta y se realizará los análisis físico-químicos. El método de investigación que se utilizó para el desarrollo de la tesis es comparativo, relacionando

todos los datos obtenidos entre las condiciones iniciales del cemento patrón sin aditivo y las finales luego de aplicado la dosificación de aditivos y variación de puzolana. Se tuvo en cuenta entonces tres métodos: inductivo, deductivo y experimental. Se contó con la colaboración de los analistas de la empresa, la Jefa del departamento de control de calidad y el Gerente Técnico, quienes supervisaron y guiaron mi investigación. Además del director de tesis y asesor quienes apoyaron para el curso exitoso del proyecto.

2.2.1 *Método inductivo.* Partió de lo simple a lo complejo, de las partes al todo, se caracteriza porque tienen una síntesis. Partiendo del diagnóstico nos ayudó a conocer los parámetros que pueden o no estar dentro de los requerimientos establecidos en normativas para el Cemento Hidráulico.

2.2.1.1 *Método deductivo.* Se da de lo general a lo particular, deduce los efectos que produce la dosificación óptima de aditivo para mejoramiento de las resistencias iniciales del cemento.

2.2.1.2 *Método experimental.* Se analizó los datos experimentales antes y después del proceso de dosificación y molienda mediante el uso de instrumentos confiables. Se tuvo los análisis de caracterización mediante equipos y materiales adecuados, calibrados con resultados validados y certeros.

2.2.2 *Técnicas.* Se constituyó con un conjunto de reglas, normas o protocolos para la obtención de un resultado determinado.

2.2.2.1 *Análisis.* Para lo cual se separó las partes de un todo hasta llegar a conocer los principios o elementos del proyecto, planteado en sus componentes conociendo a fondo el fenómeno estudiado, sus causas y efectos; y principalmente el mejoramiento obtenido con los aditivos.

2.2.2.2 *Síntesis*. Se dio una explicación corta en la que se presenta lo principal, en resumen de un todo mediante la unión de varios elementos. Compendio condensado de los conceptos más relevantes sobre la dosificación óptima para el mejoramiento, reduciendo a sus elementos más substanciales.

2.3 Análisis de laboratorio

2.3.1 *Análisis químico*. En el Laboratorio de Control de Calidad se realizan análisis cuantitativos con la ayuda de un espectrómetro de rayos x y aplicado métodos gravimétricos y complexométricos.

2.3.1.1 *Materias primas y cementos*. Para determinar la composición química de las materias primas y del cemento se utilizó un espectrómetro de rayos x, para realizar esto se debe hacer lo siguiente: se debe preparar una pastilla con el material a analizar, este puede ser materias primas como: yeso, caliza y puzolana; productos en proceso como: clínker y producto terminado: cemento. Una vez obtenida la pastilla colocamos en las celdas del espectrómetro, procedemos a digitar los códigos de la muestra en el equipo y accionamos el software. Así se obtienen los datos respectivos.

2.3.1.2 *Clínker*. En éste trabajo investigativo se realizó únicamente al clínker el mismo análisis aplicando 2 métodos y mineralógico, para determinar con certeza su composición, los métodos realizados fueron: utilizando el equipo espectrometría de rayos x, aplicando métodos gravimétricos y complexométrico y utilizando el equipo de difracción para calcular la composición mineralógica.

Para la lectura en el equipo de espectrometría se realizó el mismo procedimiento antes mencionado.

Por otro lado para el método gravimétrico se realizó de la siguiente manera:

- Tomar la muestra y secar durante 15 minutos en la estufa
- Pesar 1 gramo de muestra en un vaso de 100 mL
- Agregar 6 mL de HCl concentrado

- Disolver completamente la muestra y poner a calentar suavemente hasta que se forme una gelatina
- Añadir 50 mL de HCl diluido (aproximadamente 0.5 M) en caliente, disolver bien
- Llevar a ebullición, agitando constantemente
- Filtrar en caliente con papel para finos (D= 11 cm, luz= 0,07 mg)
- Lavar unas tres veces con agua caliente, el papel filtro con el precipitado
- El filtrado obtenido aforar en frío a 250 mL con agua destilada (solución preparada)

Determinación de sílice:

- Colocar en un crisol de platino (tarado y pesado)
- Calentar y quemar cuidadosamente el papel filtro (que no se forme llama) hasta coloración blanquecina (500 a 600°C) con la ayuda de un mechero fisher
- Calcinar por 30 minutos en una mufla a 1 000°C
- Enfriar en el desecador y pesar

$$\% \text{SiO}_2 = (\text{peso crisol} + \text{precipitado calcinado}) - \text{peso crisol vacío}) * 100$$

Determinación de cationes:

- Recibir el filtrado obtenido anteriormente
- Agitar y homogenizar
- Pipetear para

Hierro (Fe):	50 mL
Aluminio (Al):	50 mL
Calcio (Ca):	20 mL

Determinación de óxido de hierro:

- 50 mL de alícuota de solución preparada
- Determinar el pH de 1.5 a 1.7 con solución de amoníaco (controlar con pH-metro)
- Agregar indicador ácido sulfosalisílico (0.5 a 0.8 g) hasta coloración violeta intenso
- Calentar ligeramente la solución
- Titular con EDTA (hasta cambio de coloración de violeta a amarillo)

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1.996 * \text{mL EDTA consumidos} * \text{factor EDTA}$$

Determinación de óxido de aluminio:

- 50 mL de solución preparada
- Determinar pH 3 con buffer de acetato de amonio

- Agregar 10 mL de EDTA (en caso de crudo clinker y cemento) y 15 mL en caso de arcillas arenosas
- Calentar hasta ebullición por 5 minutos
- Agregar 5 a 6 gotas de indicador PAN
- Titular con solución de Sulfato de Cobre (CuSO₄.5H₂O) 0.05 M hasta cambio de coloración de amarillo a azul intenso.

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = 1.275 * [(\text{ml EDTA total} - \text{ml EDTA Fe}_2\text{O}_3) * \text{factor EDTA} - (\text{mLCuSO}_4 * f \text{ CuSO}_4)]$$

Determinación de óxido de calcio:

- En un erlenmeyer agregar 20 mL de hidróxido de potasio al 20% (controlar que el pH sea menor a 12)
- Agregar 5 mL de solución de trietanolamina al 20%
- De la solución obtenida en el filtrado, tomar una alícuota de 20 mL
- Agregar pocos mg de indicador ácido calconcarboxílico
- Titular con EDTA 0.05 M hasta cambio de coloración de violeta a azul
- El viraje también se lo puede realizar utilizando como indicador calceína, hasta cambio de coloración de anaranjado a rosado

$$\% \text{CaO} = 3.505 * \text{mL EDTA} * \text{factor EDTA}$$

Preparación de soluciones.

Solución de EDTA 0.05 M (TITRIPLEX):

- Secar a 80 °C durante cinco horas
- Disolver 18,613 g de EDTA en 1 000 mL de agua destilada

Control;

- Pesar 0,100 g de CaCO₃ (previamente desecado)
- Disolver con 15 mL de HCl 1:1
- Agregar agua destilada hasta 50 mL
- Llevar a ebullición hasta descarbonatación
- Adicionar 20 mL de KOH al 20%
- Adicionar pocos mg de calceína diluido
- Titular con la solución preparada (compleción III 0.05 M) hasta cambio de coloración de violeta a azul

$$F = 20 \text{ mL} / \text{mL utilizados en el viraje}$$

Sulfato de cobre 0.05 M (CuSO₄.5H₂O):

- Disolver 12,48 g de CuSO₄.5H₂O en 1 000 mL de agua destilada.

Control;

- Tomar 10 mL de solución de EDTA 0.05 M preparada
- Arreglar pH 3 con acetato de amonio
- Agregar 10 gotas de PAN indicador
- Titular con solución preparada (CuSO₄.5H₂O 0.05M) hasta cambio de coloración (violáceo)

$$f(\text{CuSO}_4.5\text{H}_2\text{O}) = (10 \text{ mL} * f \text{ EDTA}) / \text{mL consumidos}$$

Y para la determinación de la composición mineralógica se utilizó el equipo de difracción, para el cual se requirió el clínker bien molido el cual será puesto en una pastilla que luego será introducido en el equipo para su posterior lectura.

2.3.1.3 *Determinación de cal libre.*

- Pesar 1 gramo de muestra y colocar en un matraz erlenmeyer
- Adicionar 60mL de solución de glicerina y montar en el equipo de calentamiento con reflujo
- Someter a calentamiento con agitación constante (agitador magnético) durante 30 minutos
- Observar el aparecimiento de un color rosado intenso
- Luego de transcurrido el tiempo indicado, desmontar el matraz y titular con la solución de acetato de amonio hasta la desaparición del color rosado, leer los mililitros consumidos

$$\text{CAL LIBRE \%CaO} = \text{ml acetato consumidos} * 0,5605$$

Los siguientes métodos se aplicaron al cemento:

2.3.1.4 *Determinación de residuo insoluble.*

- Pesar 1g de muestra de cemento, colocarla en un vaso de precipitación de 250mL de capacidad y agregar 100mL de agua destilada caliente.
- Dispersar el cemento en el agua, mientras se agita la muestra, añadir 10mL de ácido clorhídrico concentrado.
- Si fuere necesario deshacer todos los grumos con el extremo de una varilla de vidrio hasta que todo el cemento se haya descompuesto, llevar a calentamiento moderado por 30 minutos sobre una placa de calentamiento eléctrico.
- Filtrar la solución a través de un papel filtro de textura media, recogiendo el filtrado en caso de realizar la determinación de Trióxido de Azufre, en un vaso de precipitación de 400mL, pasar todo el residuo del vaso, lavando repetidas veces con agua destilada caliente.
- Lavar el precipitado con hidróxido de sodio caliente (al 10% de concentración) por 3 veces consecutivas, enseguida lavar con ácido clorhídrico al 10% de igual forma por 3 veces.
- Lavar completamente el precipitado con agua destilada caliente, hasta que el precipitado quede libre de hidróxido de sodio.
- Transferir el papel filtro conteniendo el residuo a un crisol de porcelana previamente tarado, secar totalmente y calcinar durante 30 minutos en la mufla a 1000 °C
- Sacar y pesar
- Realizar los respectivos cálculos utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ residuo insoluble} = (\text{peso crisol vacío} - \text{peso crisol más muestra}) * 100$$

2.3.1.5 *Determinación de pérdida por calcinación.*

- Pesar 1g de muestra sobre el crisol tarado y pesado
- Calcinar por treinta minutos en la mufla a 1000 °C
- Sacar, dejar enfriar el crisol en el desecador por 20 minutos
- Pesar el crisol
- Calcular el porcentaje de pérdida por calcinación

$$\% \text{PPC} = (\text{peso crisol más muestra} - \text{peso crisol más muestra calcinada}) * 100$$

2.3.2 Análisis físicos.

2.3.2.1 Determinación de la finura por vía seca.

- De la muestra tomada, pesar en el panlainer 1 gramo de muestra.
- Colocar el tamiz limpio en el equipo, depositar la muestra en el tamiz N°325 y cubrir con la tapa.
- En el equipo de tamizado AS 200 Jet encender el equipo activando la tecla STAR en el programa 1. (tiempo de tamizado 1 min; velocidad: 50 rpm; vacío: 100 mbar)
- Con el martillo dar golpes suaves alrededor de la tapa del tamiz para que el material no se pegue en la tapa.
- El equipo se detiene automáticamente al transcurrir el tiempo programado, retirar la tapa y recoger en el mismo tamiz con la ayuda de una brocha, la muestra que se quedó en la tapa, si es necesario.
- Tomar el tamiz y proceder a depositar el material sobre la lámina de papel colocando boca abajo el tamiz; con el cepillo triangular de limpieza para el tamiz, limpiar la superficie externa del tamiz realizando movimientos circulares.
- Retirar el tamiz, y colocar la muestra retenida en el papel al panlainer y pesar.

$$\% \text{ RETENIDO EN TAMIZ} = \frac{\text{WR} * \text{F}}{\text{W1}}$$

DONDE:

$$\text{F} = (1 + \text{fc}) \times 100$$

fc= factor de corrección del Tamiz

WR = peso retenido por el tamiz (gramos)

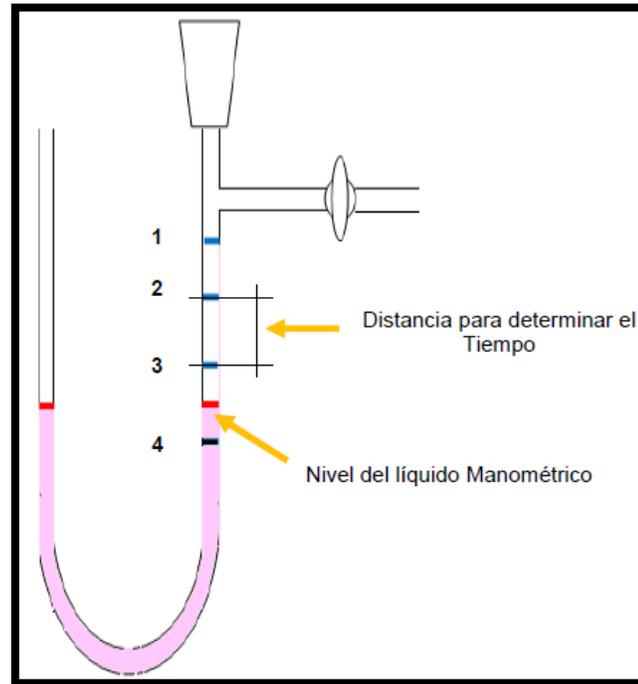
W1 = peso inicial de la muestra (gramos)

2.3.2.2 Determinación de la finura por el método de permeabilidad al aire: blaine

- De la muestra de cemento tomada y preparada a analizar, el AEQ determina el valor correspondiente de % de adición (suma de % de caliza y % de puzolana), con este valor entero redondeado ubicar en la tabla de cálculo de Blaine, la masa (gramos) correspondiente.
- Pesarse el valor correspondiente a la MASA (gramos) obtenido en la tabla de cálculo de blaine.

- Verificar que la fecha de calibración tenga máximo 4 días, y que no exista residuo de cemento en el fondo del permeabilímetro.
- Colocar dentro de la celda de permeabilidad, el disco perforado y un papel de filtro Blaine.
- Ajustar bien con la ayuda de la barra de madera acondicionada para tal fin. Manipular el filtro solo por los bordes.
- Colocar la celda de permeabilidad en el soporte de madera.
- Introducir el cemento en la celda con la ayuda de un embudo. Nivelar cuidadosamente el cemento con ligeros golpes en las paredes del embudo.
- Colocar un disco de papel filtro encima del cemento y comprima el cemento con el émbolo hasta que el collar del émbolo este en contacto con el borde superior de la celda.
- Sacar el embolo lentamente a una corta distancia, gire alrededor de 90°, vuelva a presionar y luego lentamente retírelo.
- Se requiere para cada determinación el uso de discos frescos.
- Acople la celda de permeabilidad al tubo del manómetro, asegurándose que se haya obtenido un cierre hermético y cuidando de no sacudir o disturbar el lecho preparado de cemento.
- Revisar que la válvula de paso del manómetro este cerrada. Si la deja abierta puede derramar el líquido manométrico.
- Oprimir la pera que se encuentra conectada al tubo en "U" (manómetro de vidrio), para expulsar lentamente el aire contenido en el brazo del manómetro.
- Abrir lentamente la válvula, el líquido manométrico comienza a subir. Cuando éste alcance la marca superior 1, cerrar la válvula completamente. El líquido comienza abajar.
- Arranque el cronometro cuando la base del menisco del líquido del manómetro alcanza la segunda marca y párelo cuando la base del menisco del líquido llega a la tercera marca.
- Anotar el intervalo de tiempo medido.
- Determinar el dato del blaine de acuerdo a las equivalencias establecidas en la tabla de cálculo de blaine, ubicando el valor del tiempo medido (T) seguir la fila horizontal hasta estar al nivel del valor del % de adición total, el valor de la celda es el del Blaine en (cm²/g).

Figura 5. Permeabilímetro



Norma interna de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

2.3.2.3 Determinación de la expansión método del autoclave.

- Preparación de moldes: Se limpian los moldes y los pernos de calibración; se arman los moldes y se recubre interiormente con una capa delgada de aceite mineral, para que posteriormente la probeta de ensayo se pueda retirar con facilidad; se colocan los pernos en su lugar, libres de aceite y se verifica la Longitud Efectiva (Li), comprendida entre los extremos más internos de los tornillos.
- Preparación y amasado de la pasta de cemento: De la muestra de cemento, tomada y preparada, se pesan 800 gramos de cemento y se mezcla con la cantidad calculada de agua destilada o potable, hasta determinar una consistencia normal de 10 ± 1 .
- Moldeo de las Probetas de Ensayo:
 - o Llenar los moldes con la pasta de consistencia normal obtenida, se hace en dos capas aproximadamente iguales.
 - o Compactar la pasta con el compactador de caucho. Presionar la pasta con los dedos pulgares o índices de las manos, previamente enguantadas, para obtener una buena compactación alrededor de los pernos de calibración.

- Alisar la cara superior pasando la espátula o palustre a ras del molde y retocando la cara si fuera necesario.
 - Para evitar la restricción que los pernos de calibración puedan producir durante el fraguado de la probeta, se pueden aflojar los tornillos que sujetan estos pernos luego de terminar la compactación de la pasta.
 - Con el objetivo de sacar las burbujas de aire de las pasta, tomar 6 veces de forma alternada cada lado del molde, levantar y dejar caer sobre la mesa sobre una base suave (franela).
- Curado:
- Terminada la preparación de las probetas de ensayo, colocar los moldes con las probetas de ensayo obtenidas en la cámara húmeda, donde debe permanecer 24 ± 0.5 horas antes de abrirlos y retirar las probetas de ensayo.
 - Trascorrido el tiempo requerido, retirar las probetas de ensayo de los moldes, cuidadosamente para evitar roturas, identificar cada una de las probetas en una de las caras y colocar nuevamente en la cámara húmeda hasta el momento del ensayo.
- Ensayo de expansión en autoclave:
- Encender y encerrar el comparador de longitudes, para lo cual se debe colocar la barra patrón en el comparador de longitudes y girar lentamente, presionar el botón de color verde ON/CLR, el indicador debe mostrar el valor de 0.000mm.

Figura 6. Comparador de longitudes



Norma interna de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

- Sacar las probetas de la cámara de humedad e inmediatamente medir su variación de longitud inicial (L_i) entre los extremos libres de los pernos de calibración girar lentamente la probeta y realizar la lectura.
- Al colocar las probetas en el comparador, este se debe girar lentamente y registrar la mínima lectura obtenida. La probeta se debe colocar en el compactador en la misma posición con la cara que tiene la identificación hacia el frente.
- Colocar las probetas en el soporte y llevar al autoclave, de tal forma que sus 4 caras mayores queden expuestos a la acción del vapor.

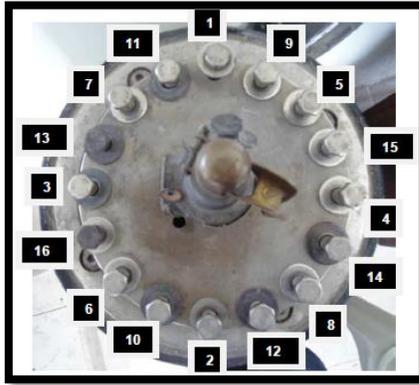
Figura 7. Soporte



Norma interna de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

- El autoclave debe contener agua suficiente para mantener la atmosfera saturada de vapor durante todo el ensayo. Normalmente entre 7 y 10 % del volumen (800ml) del autoclave debe estar ocupado por agua.
- Asegurarse que las superficies de la cubierta estén limpias, entonces colocar el empaque en la hendidura, colocar la tapa superior haciendo coincidir las flechas marcadas en el quipo, colocar las tuercas con sus respectivas rodellas y ajustar uniformemente en el orden de la (ver Fig. 2.3.2.3-3). Usando la llave de tuercas (torquimetro).

Figura 8. Secuencia de ajuste



Norma interna de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

- Se inicia el calentamiento de la autoclave, cerciorándose que la válvula de eliminación de aire permanezca abierta hasta que por ella comience a salir vapor.
- A continuación se cierra la válvula y se regula el calentamiento del autoclave, para obtenerla presión de ensayo de 2.1 MPa entre los 45 y 75 minutos siguientes al momento de inicio del calentamiento.
- Durante las tres horas siguientes, la presión se debe mantener entre un mínimo de 2.0MPa y un máximo de 2.2MPa.
- Al final de las tres horas se interrumpe el calentamiento y se deja enfriar la autoclave, de manera que al cabo de 90 min. La presión manométrica sea inferior a 0.1MPa.
- La presión residual se elimina lentamente, dejando escapar el vapor por la válvula de eliminación de aire, hasta alcanzar la presión atmosférica.
- Se abre el autoclave y se colocan las probetas de ensayo en agua cuya temperatura sea superior a 90°C.
- La temperatura del agua se hace disminuir en forma uniforme, añadiendo agua fría, de manera que descienda a $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ en 15 minutos, manteniéndose esta temperatura durante un periodo adicional de 15 minutos, al cabo del cual se retiran las probetas del autoclave, se secan cuidadosamente sus caras y se miden nuevamente la longitud (L_f) entre los extremos libres de los pernos de calibración.
- Se debe anotar la lectura del comparador con la barra patrón, antes y después de hacer las lecturas inicial y final, respectivamente, de cada grupo de probetas de ensayo.
- Luego de colocar la probeta en el comparador, esta se debe girar lentamente y registrar la mínima lectura obtenida.

- Las probetas se deben colocar en el comparador siempre en la misma posición.

Figura 9. Diagrama del autoclave



Norma interna de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

$$\% \text{ Expansi3n del cemento} = \frac{L_f - L_i}{L_e}$$

DONDE:

L_f = Longitud Final

L_i = Longitud inicial

L_e = Longitud efectiva.

En caso de haber contracci3n el resultado se indica por un n3mero negativo.

2.3.2.4 Determinaci3n de la consistencia normal del cemento hidr3ulico.

- De la muestra de cemento tomada y preparada, pesar 650 gramos de cemento y mezclar con una cantidad medida de agua destilada o potable, tomando como base el 3ltimo an3lisis realizado en el cemento respectivo y esperar 30s para la absorci3n de agua.
- Mezclar durante 30s haciendo funcionar la mezcladora a la velocidad lenta (140 ± 5 rpm).
- Detener la mezcladora por 15s durante los cuales se arrastra con la esp3tula toda la pasta adherida a la pared del recipiente hacia el fondo.
- Mezclar durante 1 minuto haciendo funcionar la mezcladora a la velocidad r3pida (285 ± 10 rpm).
- Previo a la determinaci3n aplicar una capa delgada de l3quido lubricante para moldes, sobre la placa y la superficie interna del anillo c3nico

- Con las manos enguantadas tomar la pasta y formar rápidamente una bola, arrojar seis veces de una mano a la otra, manteniéndolas separadas alrededor de 20 centímetros(cm) y formando una masa esférica, que pueda ser fácilmente insertada dentro del molde con una mínima cantidad de manipulación adicional.
- Introducir la bola de pasta en el anillo cónico por la parte más ancha, hasta llenarlo completamente.
- Retirar con la mano el exceso de pasta en la parte más ancha y asentar por esta parte sobre la placa
- Enrasar el exceso de pasta del extremo más angosto del molde mediante unas pasadas de la espátula, si es necesario alisar la parte superior con unos cuantos toques ligeros cuidando de no comprimir la pasta.
- Colocar el molde con la pasta en el aparato de Vicat, poniendo en contacto suavemente el extremo inferior del embolo con el borde superior del molde, fijando el vástago a esta posición.
- La pasta será de consistencia normal cuando la barra se asiente a un punto de 10 ± 1 milímetros (mm) bajo la superficie original. Si no se obtiene la consistencia normal, debe repetirse el ensayo usando otra porción fresca de cemento variando la cantidad de agua destilada o potable hasta obtener una consistencia normal.
- Con el dato de volumen de agua, nos ubicamos en la tabla de cálculo de la consistencia o calculamos de la siguiente forma.

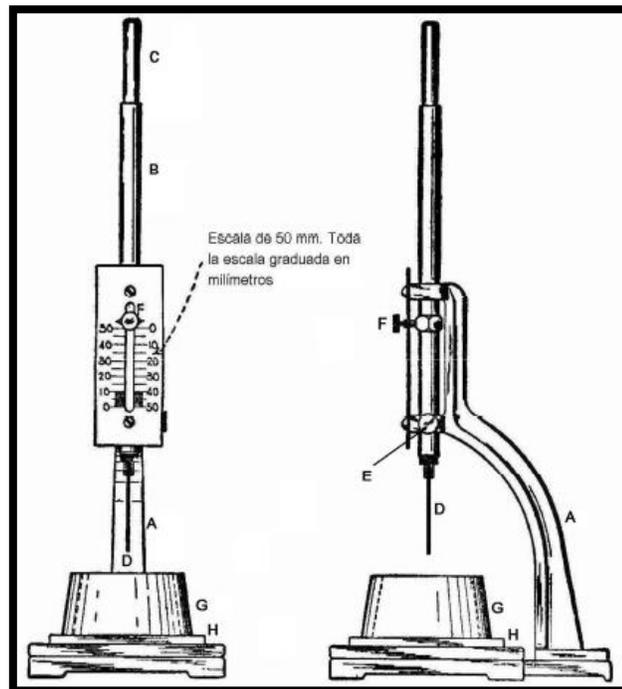
$$\text{Consistencia Normal (\%)} = \frac{\text{volumen del agua (ml)} \times 1 \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}}\right)}{\text{masa de cemento (g)}} \times 100$$

2.3.2.5 Determinación del tiempo de fraguado método de vicat.

- Luego de llenar el molde según el procedimiento de determinación de la consistencia normal, y obtener una pasta de consistencia normal se coloca rápidamente en la cámara de curado húmedo.
- Luego de 30 minutos transcurridos desde el inicio de la preparación de la pasta, sacar el molde de la cámara de curado húmedo y colocarlo debajo del vástago deslizante B que sostiene la aguja D poniéndola suavemente en contacto con la superficie de la pasta de cemento, por lo menos en 10 mm del borde del molde, fijándola el vástago en esta posición.

- Colocar el indicador ajustable F, en cero de la escala o tomar una lectura inicial, soltar el vástago y dejar que la aguja penetre dentro de la superficie de la pasta durante 30 segundos, luego de lo cual se hace la lectura para determinar la penetración.
- Se repite el procedimiento indicado anteriormente con un intervalo de 5 minutos, limpiándola aguja y colocándola en contacto con una parte no alterada de la superficie de la pasta de cemento por lo menos a 10 mm de cualquier penetración anterior.
- Se obtiene el tiempo de fraguado inicial cuando la aguja penetra 25 mm ligeramente luego de los 30 segundos de haber soltado el vástago.
- Registrar el periodo transcurrido entre el momento en el cual se obtiene esta condición y el momento en que se agrega el cemento al agua.
- Transcurrido un tiempo prudencial, repetir el proceso indicado hasta que la aguja no penetre y no deje marca visible en una parte no alterada de la superficie de la pasta de cemento.
- Registrar el periodo transcurrido entre el momento en el cual se obtiene esta condición y el momento en que se agrega el cemento al agua.

Figura 10. Aparato de vicat



Norma interna de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

2.3.2.6 Determinación del contenido de aire en morteros.

- Preparación del mortero:

- De la muestra tomada y preparada. Dosificar de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla, correspondiente a las cantidades de cemento, arena normalizada y agua.

Tabla 6. Cantidad de materiales a dosificar para la elaboración de morteros

Material	Cantidad
Cemento	350 (gramos)
Arena Normalizada	1400 (gramos)
Agua	Suficiente agua para producir un flujo de $87 \frac{1}{2} \% \pm 7 \frac{1}{2} \%$. Tomar de referencia el último ensayo

NTE INEN 195:2009

- Verter el agua en el tazón de mezclado, tomando como referencia un volumen de agua aproximado realizado con el cemento del mismo tipo.
- Colocar lentamente el cemento en el tazón de mezclado y tapar rápidamente y dejar reposar durante 10 segundos para evitar pérdida de muestra.
- Colocar en la tolva de la mezcladora, la cantidad de arena normalizada según la tabla.
- Verificar que el panel de programación, se encuentre programado para ejecutar las acciones automáticamente. La máquina mezcladora tiene la opción de ejecutar automáticamente la secuencia de acciones respecto al tiempo y velocidad de mezclado presionado PROG STAR1.
- Mezcla a velocidad baja ($140 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$), el cemento y agua durante 30 segundos.
- Agregar lentamente toda la arena normalizada requerida, ubicada en la tolva de la mezcladora, mientras se mezcla a velocidad baja.
- Seguidamente cambiar a velocidad media ($285 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$) y mezclar durante 30 segundos
- Detener la mezcladora por 90 segundos, durante los primeros 15 segundos arrastrar con la espátula o con la mano enguantada todo el mortero adherido a la pared enviando hacia el fondo del tazón.
- Los restantes 75 segundos cubrir el tazón con una tapa. Trascorrido los 90 segundos colocar el tazón en la mezcladora y mezclar durante 60 segundos, haciendo funcionar la mezcladora a velocidad media y detener.
- Verificar que la parte superior y el molde de la mesa de flujo se encuentren limpios y secos.

- Colocar el molde en el centro de la mesa, añadir 2 capas de mortero y presionar 20 veces con el apisonador, cada capa. En la última capa, la presión de compactación debe ser la suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde.
- Nivelar el mortero con la capa superior del molde, mediante pasadas del enrasador o del filo de la espátula, con movimientos de vaivén a través del borde del molde.
- Limpiar y secar la superficie de la mesa, remover con mucho cuidado cualquier porción de agua que esté alrededor del borde del molde de flujo.
- Después de haber terminado la operación de llenado, levantar el molde.
- Accionar el motor de la mesa de flujo para que oscile 10 veces en 6 segundos.
- Usando el calibrador, medir el diámetro del mortero a lo largo de las cuatro líneas trazadas en la superficie de la mesa.
- Sumar las cuatro medidas. El total de las cuatro lecturas del calibrador es igual al porcentaje del diámetro original del mortero, si el valor del flujo es de $87 \frac{1}{2} \% \pm 7 \frac{1}{2} \%$.
- Registrar la cantidad de agua empleada W (H_2O).
- Si el promedio de las 4 mediciones no se obtiene un flujo de $87 \frac{1}{2} \% \pm 7 \frac{1}{2} \%$. Repetir el ensayo con una cantidad diferente de agua.

- Determinación del contenido de aire:

- Inmediatamente de obtener el mortero con el ensayo de flujo requerido emplear el mortero que queda en el mezclador, no utilizar el mortero que se empleó en la determinación del flujo.
- Usando una espátula o una cuchara, colocar suavemente el mortero dentro del medidor de 400 cm^3 en tres capas iguales, distribuyendo cada capa 20 veces con el apisonador alrededor de la superficie interior del medidor, en una revolución completa. Un movimiento completo hacia arriba y hacia debajo del apisonador en posición vertical como una distribución.
- Al distribuir la primera capa, la espátula no debe tocar el fondo del medidor; al distribuir la segunda y última capa, debe usarse la fuerza suficiente para que la espátula penetre en la superficie de la capa inmediatamente inferior.
- Después de que se llene el medidor y se distribuya el mortero en la forma descrita, debe golpearse sus lados, suavemente, con la barra de madera, una vez en cinco puntos diferentes igualmente distanciados, alrededor de la parte externa, con el fin de eliminar el aire atrapado durante el llenado.
- Debe evitarse dejar espacios entre el mortero y las paredes del medidor, como resultado de la operación de distribución.

- Enrasar el mortero con la parte superior del medidor, pasando la espátula con movimientos de aserrado, y realizando dos cortes sobre toda la superficie en sentido normal uno de otro. Cuidar que en la operación de enrasado no haya pérdida de granos de arena por el movimiento de la regla sobre la superficie del medidor.
- Completar la operación total de llenado y alisado del recipiente dentro de 1½ minutos.
- Limpiar todo el mortero y agua adheridos al exterior del recipiente.
- Determinar la masa del recipiente y su contenido. Restar la masa del recipiente y registrar la masa del mortero en gramos.

$$\text{Contenido de aire \% volumen} = 100 \times \left(1 - \frac{W_a}{W_c}\right)$$

W_a = masa real por unidad de volumen como ha sido determinada de acuerdo al procedimiento $\left(\frac{g}{ml}\right)$

$$W_a = \frac{W}{400}$$

DONDE:

$$W = W_f - W_i$$

$$W_i = \text{Peso del medidor} = 786,3 \text{ g}$$

$$W_f = \text{Peso del medidor} + \text{Peso del mortero}$$

$$W_c = \text{masa teórica por unidad de volumen}$$

$$W_c = \frac{W_{\text{cemento}} + W_{\text{arena}} + W_{H_2O}}{V_{\text{cemento}} + V_{\text{arena}} + V_{H_2O}} = \frac{W_{\text{cemento}} + W_{\text{arena}} + W_{H_2O}}{\frac{W_{\text{cemento}}}{\rho_{\text{cemento}}} + \frac{W_{\text{arena}}}{\rho_{\text{arena}}} + \frac{W_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}}$$

DONDE:

$$W = \text{masa}$$

$$V = \text{volumen}$$

$$\rho = \text{densidad}$$

$$W_{\text{cemento}} = 350\text{g}$$

$$W_{\text{arena}} = 1400\text{g}$$

$$\rho_{\text{arena}} = \text{densidad de la arena normalizada} = 2,65 \left(\frac{g}{ml}\right)$$

$$\rho_{H_2O} = \text{densidad del agua} = 1 \left(\frac{g}{ml}\right)$$

$$\rho_{\text{cemento}} = \text{densidad cemento}$$

$$W_{H_2O} = \text{cantidad de agua empleada para que haya un flujo de } 87 \frac{1}{2} \% \pm 7 \frac{1}{2} \%$$

2.3.2.7 *Determinación de la resistencia a la compresión.*

- Preparación de los moldes para cubos

- En los molde para cubos libres de impurezas aplicar una fina capa de sustancia antiadherente como aceite, sobre las caras interiores, exteriores y la base del molde.
- Ensamblar los moldes y eliminar el exceso de aceite con el waípe.
- Dosificación, consistencia y mezclado de los Morteros.
- De la muestra tomada y preparada. Preparación de muestras, pesar 1 parte de cemento por 2,75 partes de arena normalizada. La siguiente tabla describe las correspondientes cantidades de cemento, arena normalizada y agua.

Tabla 7. Cantidades a dosificar de material para elaboración de 6 y 9 morteros

No DE CUBOS	6	9
MATERIAL		
Cemento, g	500	740
Arena, g	1375	2034
Agua, cm ³ -Portland (a/c = 0.485)	242	359
-Otros flujos de 110 ± 5%	* Volumen de agua para obtener un flujo de 110 ± 5%	* Volumen de agua para obtener un flujo de 110 ± 5%

NTE INEN 488:2009

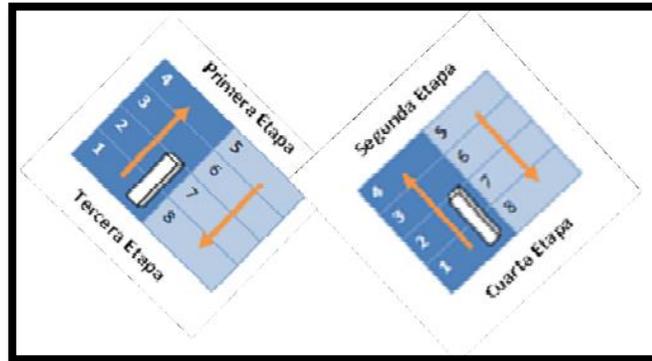
- Se debe usar una relación agua-cemento de 0.485 para todos los cementos Pórtland. La cantidad de agua de amasado, medida en cm³, para otros cementos, debe ser tal, que produzca un flujo de 110 ± 5%.
- Se mezclan a la vez las siguientes cantidades de materiales en pilada de mortero para elaborar seis o nueve cubos.

- Moldeo de los cubos de ensayo:

- Al terminar la determinación del flujo de morteros, inmediatamente retornar la pasta de mezcla de la mesa de flujo y se arrastra rápidamente, con la espátula, todo el mortero adherido a la pared del tazón de mezclado.
- Mezclar nuevamente por 15s haciendo funcionar la mezcladora a la velocidad rápida, terminado de mezclar, debe removerse, mediante la espátula, todo el mortero adherido en la paleta y en la pared del tazón hacia el fondo.
- Iniciar el llenado de los moldes dentro de un intervalo de tiempo no mayor de 2,5 minutos luego de terminar el mezclado inicial.

- Colocar una capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor (la mitad de la altura del molde) en cada compartimiento cúbico.
- Apisonar el mortero en cada compartimiento cúbico 32 veces en alrededor de 10s, en 4 etapas de 8 golpes cada una. Los golpes deben darse siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior, como se indica en la siguiente figura.

Figura 11. Orden de apisonamiento en el moldeo de los cubos de ensayo



Norma interna de la empresa Cemento Chimborazo C.A.

- La presión de apisonado debe ser la suficiente para asegurar un llenado uniforme de los moldes y se deben completar las 4 vueltas de apisonado (32 golpes) del mortero en un cubo antes de pasar al próximo.
- Una vez terminado el apisonado de la primera capa en todos los compartimientos, llenar los compartimientos con el mortero restante y se apisonar igual que la primera capa.
- Durante la compactación de la segunda capa se recoge el mortero que haya rebosado sobre la parte superior del molde después de cada etapa de compactación
- Al finalizar la compactación el mortero debe sobresalir ligeramente de los moldes, el mortero depositado en los bordes del molde debe verterse a los compartimientos con la ayuda de la espátula o palustre.
- Alisar los cubos, pasando la parte plana del palustre o espátula, con la punta ligeramente levantada, una sola vez en el sentido longitudinal y otra en el sentido transversal del molde.
- Para nivelar el mortero, que sobresalga la cara superior del molde, se pasa la parte plana de la espátula, con la punta ligeramente levantada, suavemente, a lo largo del molde, y enrasar el mortero con el tope superior del molde pasando el borde recto de la espátula, sosteniendo casi perpendicular al molde.

- Almacenamiento de los cubos de ensayo:

- Terminada la operación de llenado, colocar el conjunto formado por los cubos, el molde y la placa en la cámara de curado húmedo, de 20 a 24 horas, con las caras superiores de los cubos expuestas al aire húmedo, pero protegidos contra la eventual caída de gotas de agua.
- Desmoldar los cubos e identificar sobre la cara descubierta en el molde con el correspondiente código o identificación utilizando el lápiz.
- Sumergir los cubos en agua (El agua de almacenamiento debe mantenerse limpia por renovación frecuente) dentro de tanques de almacenamiento en una solución saturada de cal.
- Los cubos deben ser ubicados de acuerdo al tipo de cemento y al tiempo a ensayarse.

- Ensayo de los cubos en la prensa hidráulica:

- Todos los cubos correspondientes a determinada edad de ensayo deben ensayarse dentro de la tolerancia permisible de tiempo que se indica en la siguiente tabla.

Tabla 8. Tolerancia permisible para ensayo de cubos

EDAD DEL CUBO	TOLERANCIA PERMISIBLE
24 HORAS	± 0.5 HORAS
3 DÍAS	± 1 HORA
7 DÍAS	± 3 HORAS
28 DÍAS	± 12 HORAS

NTE INEN 488:2009

- Secar la superficie de cada cubo y eliminar los granos sueltos de arena u otras incrustaciones de aquellas caras que estarán en contacto con los bloques de carga de la máquina de ensayo.
- Se debe ensayar los cubos inmediatamente después de sacarlos de la cámara de curado húmedo, en el transcurso del ensayo los cubos deben mantenerse cubiertos con un paño húmedo hasta el momento del ensayo.
- Encender la prensa ELE, colocar en el modo 2
- Presionar RESET y seguidamente RUM.
- Esperar el tiempo necesario de resistencia de aplicación de cada cubo
- Registrar el valor de la resistencia a la compresión en $\text{MPa}=\text{N}/\text{mm}^2$
- Colocar cuidadosamente el cubo, centrándolo debajo del bloque superior de carga de manera que la carga que se aplique a dos caras del cubo previamente medidas y que

estaban en contacto con las superficies planas del molde, asegurándose que el sistema de rotula esférica esté libre de empujes laterales.

2.3.2.8 Determinación del índice de actividad puzolánica.

- Moldeo de cubos de ensayo:

- Moldear las muestras de una mezcla patrón y de una mezcla de ensayo de acuerdo con el Procedimiento De Resistencias A La Compresión.
- El cemento empleado en la mezcla de control y de prueba deberá elaborarse como se indica en el Procedimiento De Preparación De Cemento En El Laboratorio (molino de bolas).
- Para la preparación de morteros las proporciones son indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 9. Dosificación de material para elaboración de morteros

Material para 6 cubos	Mortero Patrón	Mortero de ensayo
Cemento (gramos)	500	325
Arena normalizada (gramos).	1375	1375
Puzolana (gramos)	0	$175 \times \frac{\text{densidad de la puzolana}}{\text{densidad del cemento}}$ 1*
Agua (ml)	242	Cantidad de agua para obtener un flujo de 100 a 115 % 2*

NTE INEN 496

- Almacenamiento de cubos de ensayo:

- Colocar los moldes con las muestras en la cámara de curado húmedo de $23 \pm 2^{\circ}$ C durante 20 a 24 horas. Mientras se encuentra en la cámara de curado húmedo proteja la superficie de las muestras de goteo de agua.
- Retirar los moldes de la cámara de curado y extraer los cubos de los moldes
- Colocar los cubos en los recipientes herméticos sellar con cinta de embalaje las puntas entre la tapa y el recipiente.
- Almacenar en la estufa a $38 \pm 1.7^{\circ}$ C durante un tiempo de 28 días.

- Ensayo de los cubos en la prensa

- Extraer las muestras de la estufa y deje enfriar hasta $23 \pm 4^{\circ}$ C.
- Determinar la resistencia a la compresión de las muestras de control y de las muestras de ensayo según el Procedimiento Para la Determinación de la Resistencia a la Compresión (Ensayo de los cubos en la prensa hidráulica) a una edad de 7 y 28 días.

$$\text{Indice de Actividad Puzolánica} = \frac{A}{B} \times 100$$

A = Resistencia a la compresión de los cubos de la mezcla de ensayo (MPa)

B = Resistencia a la compresión de los cubos de la mezcla patrón (MPa)

2.3.3 Preparación del cemento patrón – CP.

Para determinar la eficiencia de los aditivos, se utilizará la dosificación de un Cemento Portland Puzolánico IP constante: 66% CLCH, 25% Pz, 6% CAN y 3% Y EDESA.

- Realizar la dosificación de las materias primas, es decir: 66% CLCH, 25% Pz, 6% CAN y 3% Y EDESA en 1kg.
- Proceder a moler durante 1h en el molino de bolas del laboratorio de control de calidad, previamente limpio.
- Realizar dos moliendas para obtener la cantidad necesaria con la que se pueda realizar los ensayos.
- Tamizar las dos moliendas con la malla N°20 y homogenizar.
- Etiquetar y realizar los ensayos físicos y químicos necesarios.

Dónde:

CLCH: Clínter que produce la empresa Cemento Chimborazo

Pz: Puzolana, proveniente de Los Pinos.

Y EDESA: Yeso de la empresa EDESA.

CAN: Caliza nave.

2.3.4 Preparación del cemento utilizando aditivos.

2.3.4.1 Aditivo A - SikaGrind 109-EC.

Tabla 10. Dosificaciones con el aditivo A - SikaGrind 109-EC

N°	CLCH (g)	Pz (g)	Y EDESA (g)	CAN (g)	ADITIVO (mL)
A1	660	250	30	60	0,25
A2	660	250	30	60	0,5
A3	660	250	30	60	0,75
A4	660	250	30	60	1
A5	660	250	30	60	1,25

A6	660	250	30	60	1,5
-----------	-----	-----	----	----	-----

Carlos Rivadeneira

- Pesar las dosificaciones expresadas en la tabla anterior en duplicado para cada una de las muestras de cemento. Habrá 6 muestras diferentes de cemento (A1, A2, A3, A4, A5 y A6)
- Añadir la cantidad de aditivo a las materias primas que se van a moler, según el tipo de dosificación que se va a realizar. Ejemplo: para muestra de cemento A1, pesar 660g CLCH, 250g Pz, 60g de CAN, 30g Y EDESA y añadir 0,25mL del aditivo A.
- Realizar dos moliendas, durante el tiempo de 1h cada una. Verificar que el molino de bolas este limpio.
- Tamizar las dos moliendas con la malla N°20 y homogenizar.
- Etiquetar y realizar los ensayos físicos y químicos necesarios.

2.3.4.2 Aditivo B - SikaGrind 860.

Tabla 11. Dosificaciones con el aditivo B - sikaGrind 860

N°	CLCH (g)	Pz (g)	Y EDESA (g)	CAN (g)	ADITIVO (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
B5	660	250	30	60	1,25
B6	660	250	30	60	1,5

Carlos Rivadeneira

- Pesar las dosificaciones expresadas en la tabla anterior en duplicado para cada una de las muestras de cemento. Habrá 6 muestras diferentes de cemento (B1, B2, B3, B4, B5 y B6)
- Añadir la cantidad de aditivo a las materias primas que se van a moler, según el tipo de dosificación que se va a realizar. Ejemplo: para muestra de cemento B1, pesar 660g CLCH, 250g Pz, 60g de CAN, 30g Y EDESA y añadir 0,25mL del aditivo B.
- Realizar dos moliendas, durante el tiempo de 1h cada una. Verificar que el molino de bolas este limpio.
- Tamizar las dos moliendas con la malla N°20 y homogenizar.

- Etiquetar y realizar los ensayos físicos y químicos necesarios.

2.3.4.3 Aditivo C - RGA K155.

Tabla 12. Dosificaciones con el aditivo C - RGA K155

N°	CLCH (g)	Pz (g)	Y EDESA (g)	CAN (g)	ADITIVO (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

Carlos Rivadeneira

- Pesar las dosificaciones expresadas en la tabla anterior en duplicado para cada una de las muestras de cemento. Habrá 5 muestras diferentes de cemento (C1, C2, C3, C4 y C5)
- Añadir la cantidad de aditivo a las materias primas que se van a moler, según el tipo de dosificación que se va a realizar. Ejemplo: para muestra de cemento C1, pesar 660g CLCH, 250g Pz, 60g de CAN, 30g Y EDESA y añadir 0,2mL del aditivo C.
- Realizar dos moliendas, durante el tiempo de 1h cada una. Verificar que el molino de bolas este limpio.
- Tamizar las dos moliendas con la malla N°20 y homogenizar.
- Etiquetar y realizar los ensayos físicos y químicos necesarios.

2.3.4.4 Aditivo D - RGA S346.

Tabla 13. Dosificaciones con el aditivo D - RGA S346

N°	CLCH (g)	Pz (g)	Y EDESA (g)	CAN (g)	ADITIVO (mL)
D1	660	250	30	60	0,5
D2	660	250	30	60	1
D3	660	250	30	60	1,5
D4	660	250	30	60	2

Carlos Rivadeneira

- Pesar las dosificaciones expresadas en la tabla anterior en duplicado para cada una de las muestras de cemento. Habrá 4 muestras diferentes de cemento (D1, D2, D3 y C4)
- Añadir la cantidad de aditivo a las materias primas que se van a moler, según el tipo de dosificación que se va a realizar. Ejemplo: para muestra de cemento D1, pesar 660g CLCH, 250g Pz, 60g de CAN, 30g Y EDESA CAN y añadir 0,5mL del aditivo D.
- Realizar dos moliendas, durante el tiempo de 1h cada una. Verificar que el molino de bolas este limpio.
- Tamizar las dos moliendas con la malla N°20 y homogenizar.
- Etiquetar y realizar los ensayos físicos y químicos necesarios.

2.3.5 Preparación del cemento con variación de puzolana.

2.3.5.1 Dosificación con 15% de puzolana.

- Realizar la dosificación de las materias primas, con: 76% CLCH, 15% Pz, 6% CAN y 3% Y EDESA y en 1kg.
- Preparar la misma dosificación para posteriormente añadir la cantidad más eficiente de cada aditivo antes mencionado. Habrá cuatro cementos diferentes por los 4 aditivos investigados.
- Proceder a moler durante 1h en el molino de bolas del laboratorio de control de calidad, previamente limpio.
- Realizar dos moliendas para obtener la cantidad necesaria con la que se pueda realizar los ensayos.
- Tamizar las dos moliendas con la malla N°20 y homogenizar.
- Etiquetar y realizar los ensayos físicos y químicos necesarios.

2.3.5.2 Dosificación con 20% de puzolana.

- Realizar la dosificación de las materias primas, con: 71% CLCH, 20% Pz, 6% CAN y 3% Y EDESA en 1kg.
- Preparar la misma dosificación para posteriormente añadir la cantidad más eficiente de cada aditivo antes mencionado. Habrá cuatro cementos diferentes por los 4 aditivos investigados.

- Proceder a moler durante 1h en el molino de bolas del laboratorio de control de calidad, previamente limpio.
- Realizar dos moliendas para obtener la cantidad necesaria con la que se pueda realizar los ensayos.
- Tamizar las dos moliendas con la malla N°20 y homogenizar.
- Etiquetar y realizar los ensayos físicos y químicos necesarios.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 *Análisis físico – químicos de materias primas.*

3.1.1.1 *Composición química (yeso, caliza, puzolana).*

Tabla 14. Análisis químico de materias primas

	CONTROL DE CALIDAD			NORMA INTERNA									
	ANÁLISIS QUIMICO DE MATERIAS PRIMAS			CONDICIONES DEL LABORATORIO									
	MATERIA	YESO	CALIZA	PUZOLANA	H. RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)							
PROCEDENCIA	EDESA	CUIQUILOMA-PERFIL O	LOS PINOS	52	24								
FECHA DE MUESTREO	21/08/2013	18/09/2013	19/09/2013										
COMPOSICIÓN QUÍMICA													
COMPOSICIÓN	% PPC	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	SO₃	Na₂O	K₂O	TiO₂	P₂O₅	Σ T	% CaCO₃
MATERIA													
YESO	20,08	4,91	0,81	1,53	30,03	0,09	41,92	0,42	0,21	100	...
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	...

Carlos Rivadeneira

3.1.1.2 Índice de actividad puzolánica.

Tabla 15. Índice de actividad puzolánica método del cemento

	CONTROL DE CALIDAD			NORMA INTERNA	
	ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA MÉTODO DEL CEMENTO			CONDICIONES DEL LABORATORIO	
MATERIA	PUZOLANA			H. RELATIVA (%)	TEMP. (°C)
PROCEDENCIA	LOS PINOS			52	24
FECHA DE MUESTREO	19/09/2013				
RESISTENCIAS (MPa)	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS		
CARACTERISTICAS					
MORTERO DE ENSAYO	9,89	22,57	32,52		
CEMENTO PATRÓN	25,89	33,41	39,69		
ÍNDICE DE ACTIVIDAD	81,93%				

Carlos Rivadeneira

3.1.2 Análisis físico-químicos del clínker.

Tabla 16. Análisis de clínker aplicando 2 métodos y mineralógico

	CONTROL DE CALIDAD		NORMA INTERNA	
	ANÁLISIS QUÍMICO DE MATERIA SEMI-ELABORADA		CONDICIONES DEL LABORATORIO	
MATERIA	CLINKER		H. RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)
PROCEDENCIA	EMPRESA		52	24
FECHA DE MUESTREO	16-27/09/2013			
	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	...	
MgO	1,29	1,29	...	
SO ₃	0,55	0,55	...	
Na ₂ O	0,00	0,00	...	
K ₂ O	0,13	0,13	...	
TiO ₂	0,34	0,34	...	
P ₂ O ₅			...	
TOTAL	100	100	...	
Cal libre	0,62			
Peso Litro (g)	1210,7			
SC	93,86	89,40	...	
MS	2,84	2,79	...	
MA	1,16	1,32	...	
S. Alcalis	0,09	0,09	...	
C ₃ S	63,99	51,67	56,23	
C ₂ S	16,64	27,79	29,46	
C ₃ A	5,07	6,51	1,38	
C ₄ AF	11,24	10,92	12,27	
Fase Líquida	22,15	23,33	...	
Índice Costra	27,03	30,18	...	

Carlos Rivadeneira

3.1.3 Análisis físico – químicos del cemento portland puzolánico IP.

3.1.3.1 Adición de aditivos sintéticos y naturales en la molienda final de cemento para el mejoramiento de las resistencias.

3.1.3.1.1 Dosificación de aditivos sintéticos al cemento IP.

3.1.3.1.1.1 Adición de aditivo A - SikaGrind 109-EC.

Tabla 17. Resultados con el aditivo A - SikaGrind 109-EC

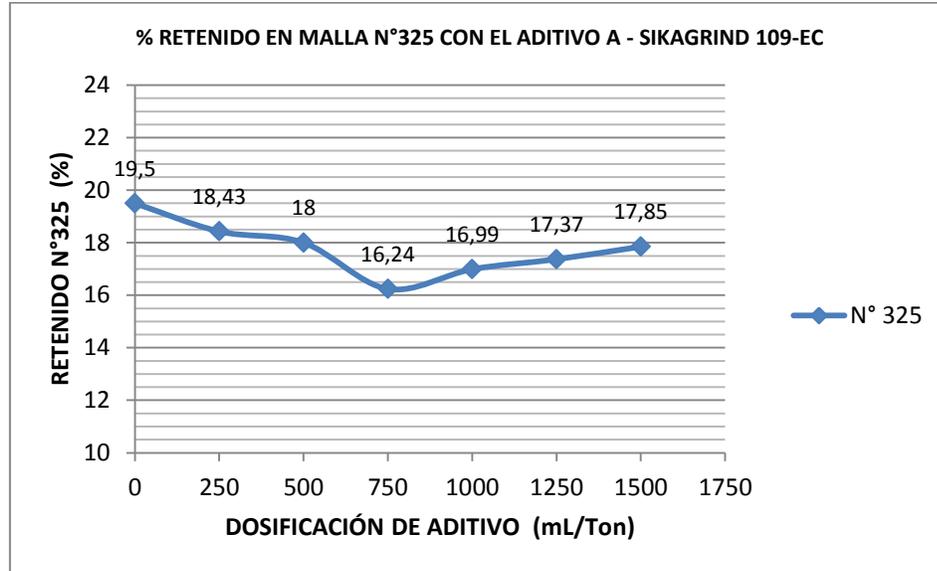
	CONTROL DE CALIDAD					Cuarto de curado		
						T(°C) Amb.	T (°C) Agua Curado	H. Relativa (%)
						24,5	20,5	44
	REPORTE DE ENSAYOS FISICOS Y QUIMICOS					Gabinete Húmedo		
ADITIVO	Sikagrind 109- EC	FECHA	Octubre- Noviembre			24	99	
DOSIFICACION DEL CEMENTO	66% CLINKER , 25% PUZOLANA, 6% CALIZA y 3% YESO							
IDENTIFICACION	INEN 490	CP	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Ad. Dosificación (mL/Ton)	0	0	250	500	750	1000	1250	1500
Aditivo (%)	0	0	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15
ANALISIS QUIMICO								
Perd. Fuego	máx. 5	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
SiO ₂		32,37	32,30	32,55	32,60	32,97	32,64	32,46
Al ₂ O ₃		6,64	6,63	6,67	6,64	6,57	6,68	6,61
Fe ₂ O ₃		3,18	3,20	3,19	3,19	3,19	3,19	3,20
CaO		48,64	48,72	48,38	48,41	48,20	48,36	48,64
MgO	máx. 6	1,14	1,14	1,15	1,14	1,13	1,13	1,13
SO ₃	máx. 4	1,82	1,81	1,83	1,81	1,78	1,79	1,78
Na ₂ O		0,89	0,88	0,91	0,90	0,86	0,89	0,87

K2O		0,95	0,95	0,95	0,94	0,92	0,94	0,94
TiO2		0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,32	0,32
TOTAL (%)		100	100	100	100	100	100	100
Cal Libre		0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Res. Insoluble		22,09	22,09	22,09	22,09	22,09	22,09	22,09
S. Alcalis		1,53	1,52	1,55	1,53	1,49	1,53	1,51
ENSAYOS FISICOS								
H2O pasta (mL)		156	156	158	158	160	160	160
Consistencia Normal		24	24	24,3	24,3	24,61	24,61	24,61
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
Densidad (g/cm3)		2,8944	2,89	2,8939	2,9016	2,8691	2,8829	2,8914
Peso volumétrico		0,9507	0,9627	0,9899	0,9701	0,9884	0,9842	0,9942
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
H2O mortero (mL)		300	300	300	300	300	300	300
Fluidez (cm)		113	106	110	106	107	106	109
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 COMPRESION (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
OBSERVACIONES:	Cantidad de total dosificada 1000g y tiempo de molienda 1h CP: Cemento Patrón (sin aditivo) A1: Cemento con 0,025% de aditivo A A2: Cemento con 0,05% de aditivo A A3: Cemento con 0,075% de aditivo A A4: Cemento con 0,1% de aditivo A A5: Cemento con 0,125% de aditivo A A6: Cemento con 0,15% de aditivo A							

Carlos Rivedeneira

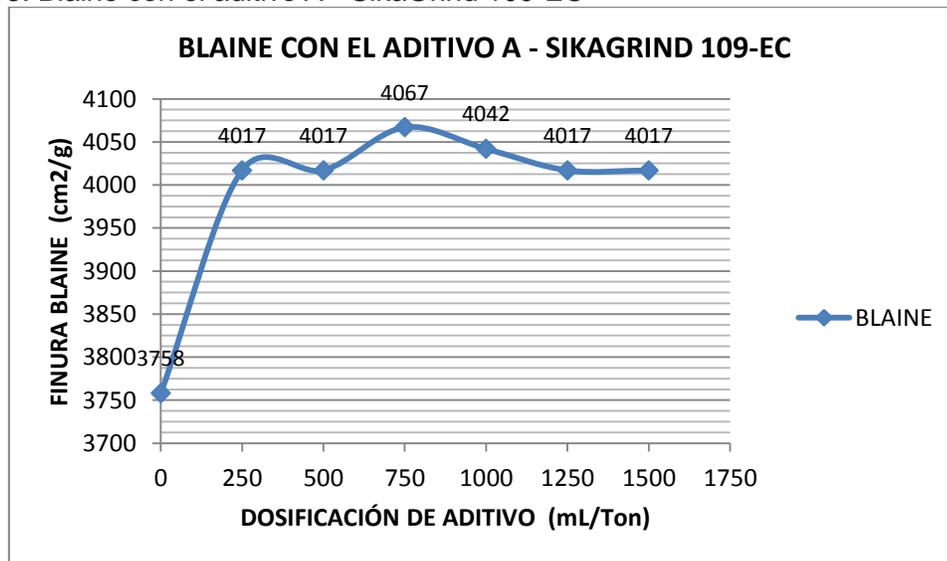
A continuación se representan en gráficos, los parámetros más importantes a controlar del cemento para determinar la eficiencia del aditivo A:

Figura 12. Retenido en malla N° 325 con el aditivo A - SikaGrind 109-EC



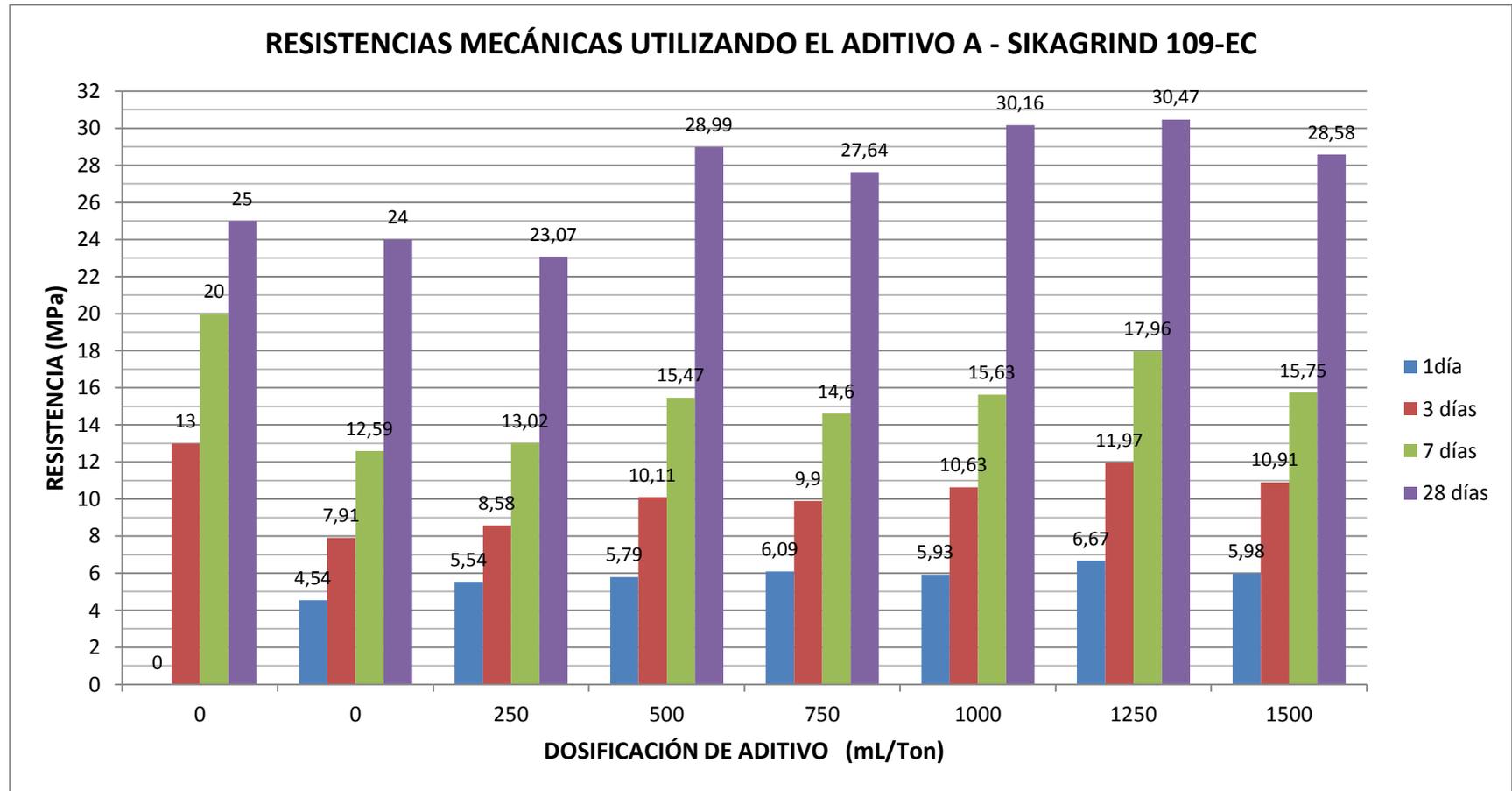
Carlos Rivadeneira

Figura 13. Blaine con el aditivo A - SikaGrind 109-EC



Carlos Rivadeneira

Figura 14. Resistencias mecánicas utilizando el aditivo A - SikaGrind 109-EC



Carlos Rivadeneira

3.1.3.1.1.2 Adición de aditivo B - SikaGrind 860.

Tabla 18. Resultados con el aditivo B - SikaGrind 860

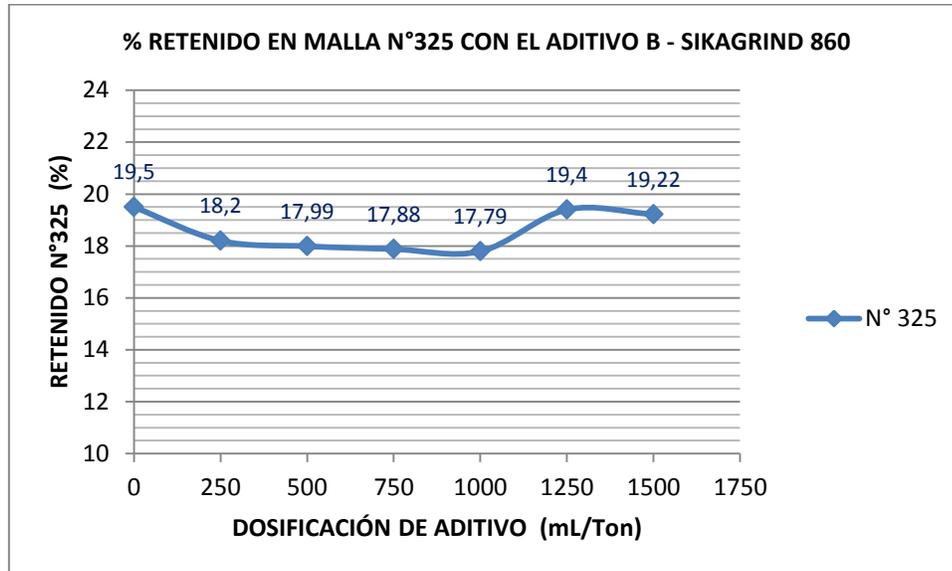
		CONTROL DE CALIDAD				Cuarto de curado		
						T(°C) Amb.	T(°C) Agua Curado	H. Relativa (%)
REPORTE DE ENSAYOS FISICOS Y QUIMICOS		FECHA				24,5	20,5	44
						Gabinete Húmedo		
		T(°C)	H. Relativa (%)					
ADITIVO	Sikagrind 860	FECHA				24	99	
DOSIFICACION DEL CEMENTO	66% CLINKER , 25% PUZOLANA, 6% CALIZA y 3% YESO							
IDENTIFICACION	INEN 490	CP	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Ad. Dosificación (mL/Ton)	0	0	250	500	750	1000	1250	1500
Aditivo (%)	0	0	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15
ANALISIS QUIMICO								
Perd. Fuego	máx. 5	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06
SiO ₂		32,37	32,47	32,45	32,49	32,41	32,62	32,57
Al ₂ O ₃		6,64	6,64	6,64	6,65	6,65	6,64	6,65
Fe ₂ O ₃		3,18	3,17	3,18	3,19	3,20	3,18	3,20
CaO		48,64	48,52	48,55	48,51	48,60	48,45	48,50
MgO	máx. 6	1,14	1,13	1,16	1,11	1,14	1,10	1,13
SO ₃	máx. 4	1,82	1,83	1,79	1,85	1,79	1,80	1,73
Na ₂ O		0,89	0,89	0,90	0,88	0,89	0,88	0,89
K ₂ O		0,95	0,97	0,95	0,95	0,94	0,96	0,95
TiO ₂		0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
TOTAL (%)		100	100	100	100	100	100	100
Cal Libre		0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Res. Insoluble		22,09	22,09	22,09	22,09	22,09	22,09	22,09
S. Alcalis		1,53	1,55	1,54	1,53	1,53	1,54	1,54
ENSAYOS FISICOS								
H ₂ O pasta (mL)		156	152	152	152	154	154	154
Consistencia Normal		24	23,4	23,4	23,4	23,7	23,7	23,7
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
Densidad (g/cm ³)		2,8944	2,9022	2,9022	2,8533	2,8877	2,8888	2,8956
Peso volumétrico		0,9507	0,9656	0,9786	0,9653	0,9704	0,9744	0,9748
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
H2O mortero (mL)		300	290	290	290	290	290	290
Fluidez (cm)		113	110	110	109	106	114	113
BLAINE (cm ² /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 COMPRESION (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
OBSERVACIONES:	Cantidad de total dosificada 1000g y tiempo de molienda 1h CP: Cemento Patrón (sin aditivo) B1: Cemento con 0,025% de aditivo B B2: Cemento con 0,05% de aditivo B B3: Cemento con 0,075% de aditivo B B4: Cemento con 0,1% de aditivo B B5: Cemento con 0,125% de aditivo B B6: Cemento con 0,15% de aditivo B							

Carlos Rivadeneira

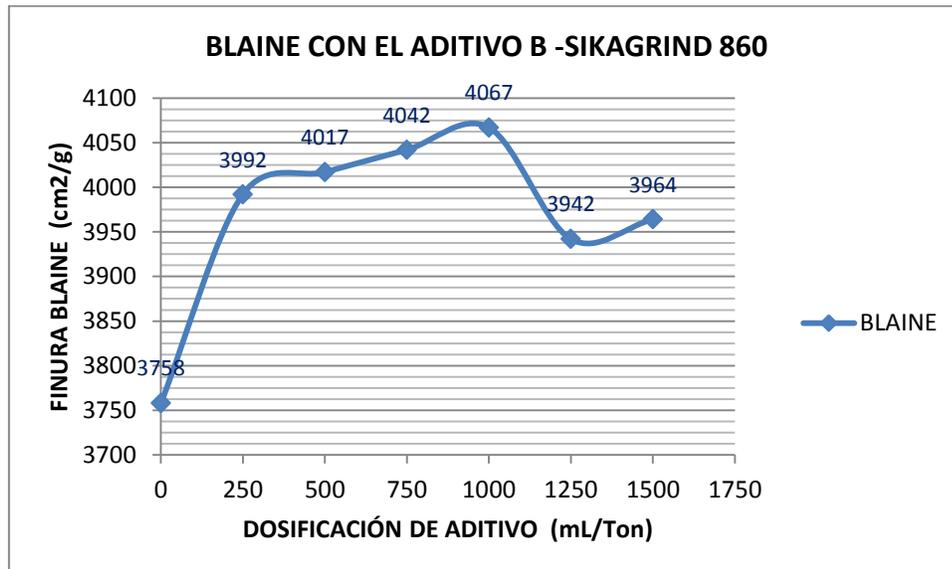
A continuación se representan en gráficos, los parámetros más importantes a controlar del cemento para determinar la eficiencia del aditivo B:

Figura 15. %Retenido en malla N°325 del aditivo B - SikaGrind 860



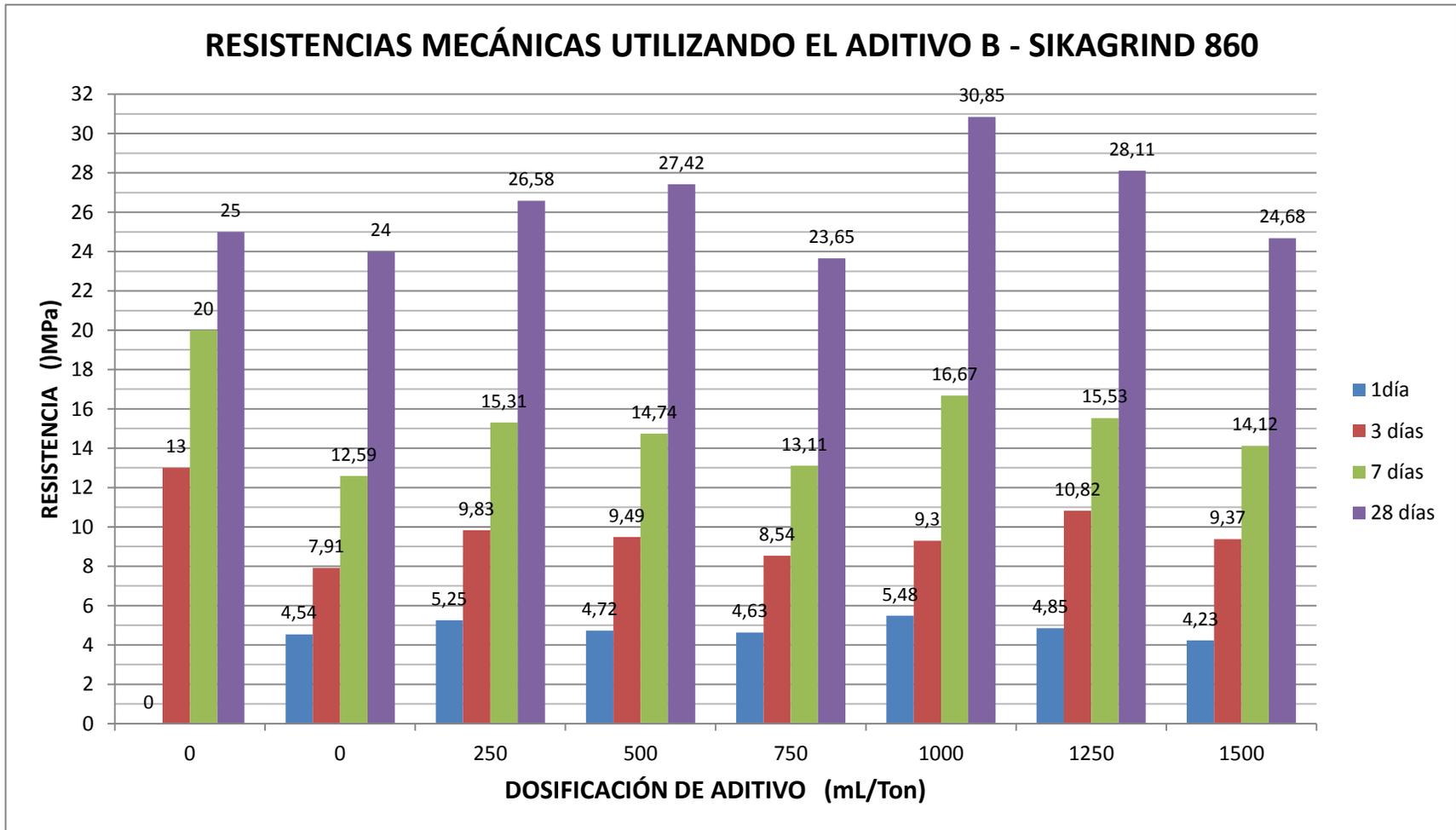
Carlos Rivadeneira

Figura 16. Blaine con el aditivo B - SikaGrind 860



Carlos Rivadeneira

Figura 17. Resistencias mecánicas utilizando el aditivo B - SikaGrind 860



Carlos Rivadeneira

3.1.3.1.1.3 Adición de aditivo C - RGA K155.

Tabla 19. Resultados con el aditivo C - RGA K155

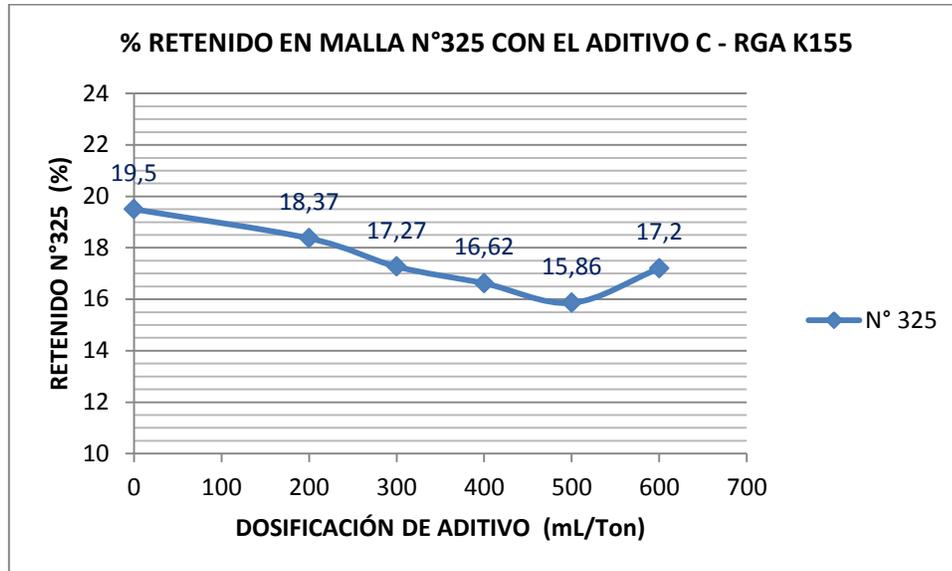
		CONTROL DE CALIDAD				Cuarto de curado		
						T(°C) Amb.	T (°C) Agua Curado	H. Relativa (%)
						24,5	20,5	44
REPORTE DE ENSAYOS FISICOS Y QUIMICOS		REPORTE DE ENSAYOS FISICOS Y QUIMICOS				Gabinete Húmedo		
						T (°C)	H. Relativa (%)	
ADITIVO	RGA K155	FECHA	Octubre- Noviembre			24	99	
DOSIFICACION DEL CEMENTO	66% CLINKER , 25% PUZOLANA, 6% CALIZA y 3% YESO							
IDENTIFICACION	INEN 490	CP	C1	C2	C3	C4	C5	
Ad. Dosificación (mL/Ton)	0	0	200	300	400	500	600	
Aditivo (%)	0	0	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	
ANALISIS QUIMICO								
Perd. Fuego	máx. 5	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06	
SiO2		32,37	32,16	32,22	32,56	32,66	32,63	
Al2O3		6,64	6,56	6,66	6,68	6,67	6,66	
Fe2O3		3,18	3,15	3,23	3,19	3,17	3,17	
CaO		48,64	49,06	48,74	48,43	48,30	48,38	
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	
Na2O		0,89	0,86	0,88	0,89	0,91	0,89	
K2O		0,95	0,94	0,92	0,95	0,96	0,97	
TiO2		0,32	0,31	0,33	0,32	0,32	0,32	
TOTAL (%)		100	100	100	100	100	100	
Cal Libre		0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	
Res. Insoluble		22,09	22,09	22,09	22,09	22,09	22,09	
S. Alcalis		1,53	1,51	1,50	1,54	1,55	1,55	
ENSAYOS FISICOS								
H2O pasta (mL)		156	160	160	160	160	160	
Consistencia Normal		24	24,61	24,61	24,61	24,61	24,61	
Fraguado Inicial (min)	> 45	162	125	120	135	130	150	

Fraguado Final (h)	< 7	3,72	3	3	3,33	3,25	3,92	
Densidad (g/cm ³)		2,8944	2,8939	2,9235	2,9031	2,914	2,9	
Peso volumétrico		0,9507	0,9872	0,9832	0,9882	0,9799	0,9859	
Contenido de Aire (%)	≤ 12	1,5259	1,3978	2,3777	2,2906	1,9913	2,3927	
Autoclave (%)	0,8 - 0,2	0,0196	-0,0307	-0,0251	-0,0369	-0,0463	0,0031	
H2O mortero (mL)		300	300	300	300	300	300	
Fluidez (cm)		113	106	105	110	106	107	
BLAINE (cm ² /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	
RESISTENCIA A LA COMPRESION (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	
OBSERVACIONES:	Cantidad de total dosificada 1000g y tiempo de molienda 1h CP: Cemento Patrón (sin aditivo) C1: Cemento con 0,02% de aditivo C C2: Cemento con 0,03% de aditivo C C3: Cemento con 0,04% de aditivo C C4: Cemento con 0,05% de aditivo C C5: Cemento con 0,06% de aditivo C							

Carlos Rivadeneira

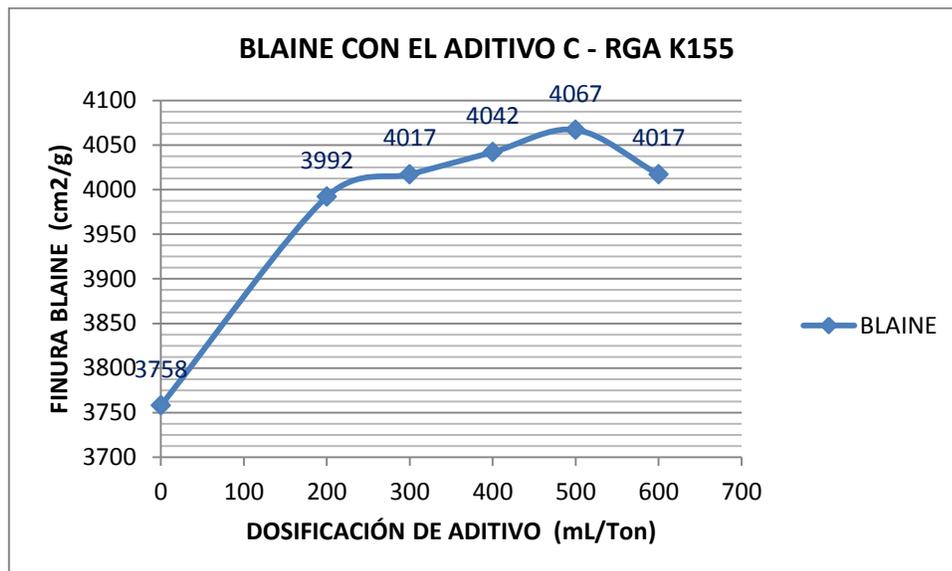
A continuación se representan en gráficos, los parámetros más importantes a controlar del cemento para determinar la eficiencia del aditivo C:

Figura 18. % Retenido en malla N°325 con el aditivo C - RGA K155



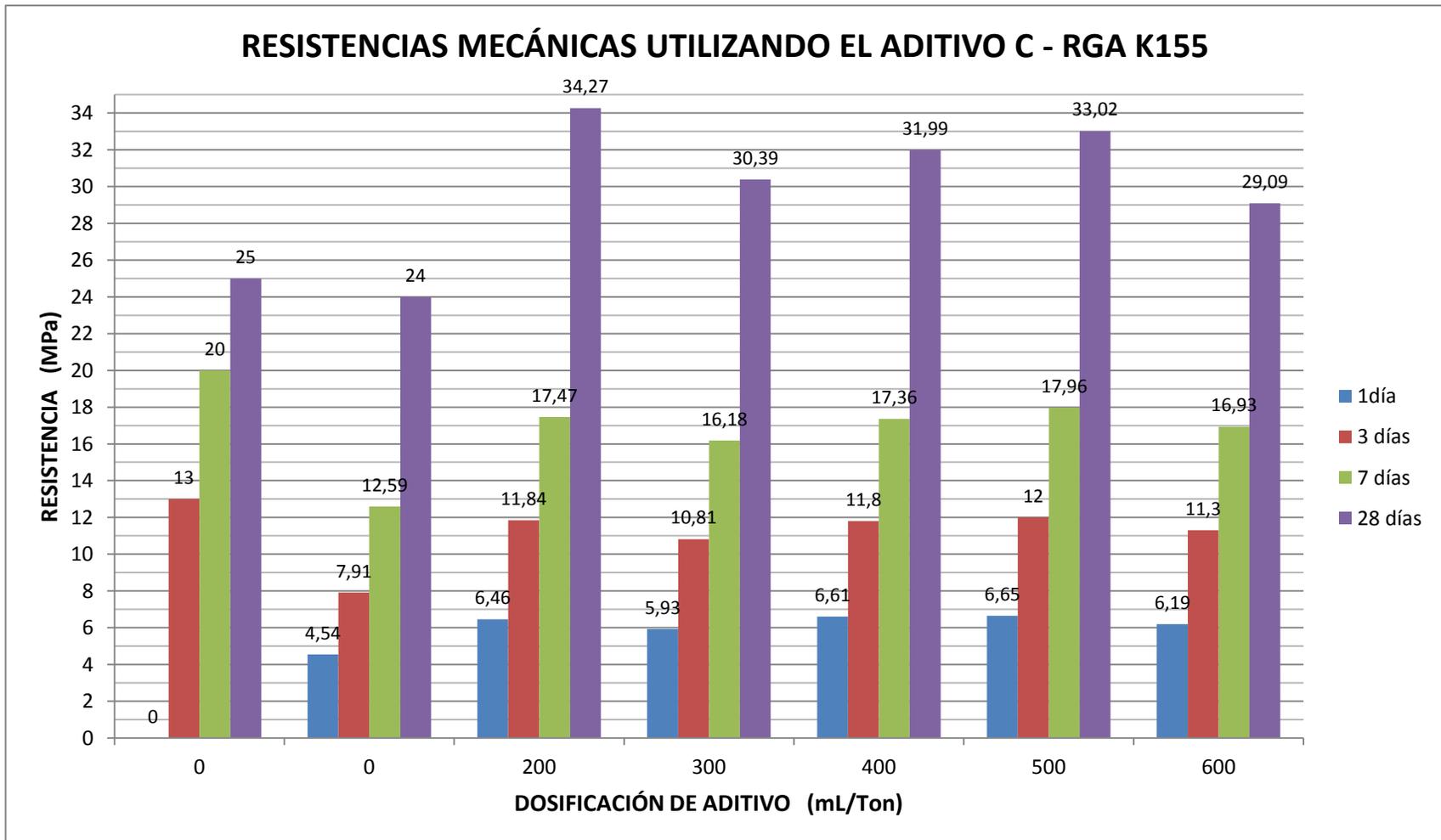
Carlos Rivadeneira

Figura 19. Blaine con el aditivo C - RGA K155



Carlos Rivadeneira

Figura 20. Resistencias mecánicas utilizando el aditivo C - RGA K155



Carlos Rivadeneira

3.1.3.1.1.4 Adición de aditivo D - RGA S346.

Tabla 20. Resultados con el aditivo D - RGA S346

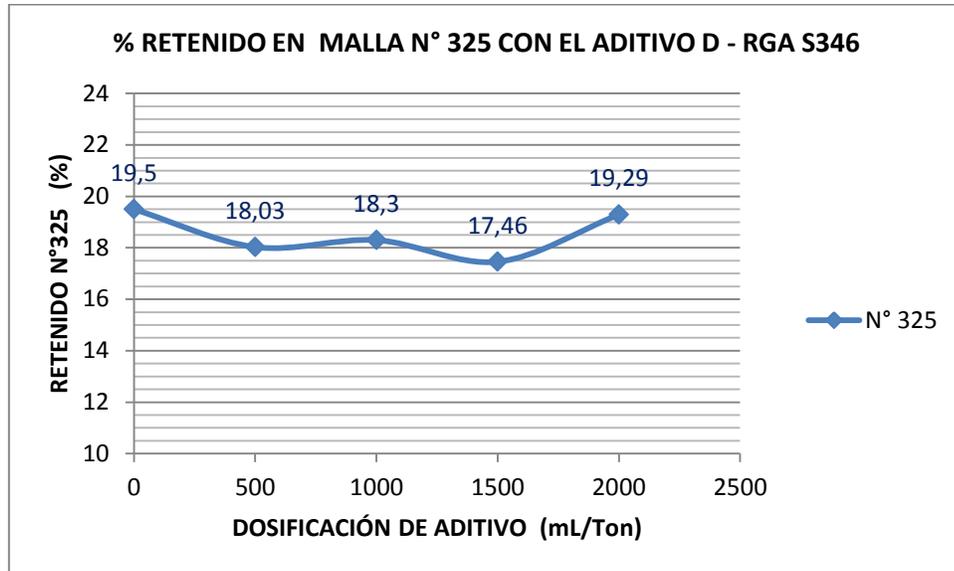
		CONTROL DE CALIDAD				Cuarto de curado		
						T(°C) Amb.	T(°C) Agua Curado	H. Relativa (%)
						24,5	20,5	44
		REPORTE DE ENSAYOS FISICOS Y QUIMICOS				Gabinete Húmedo		
						T(°C)	H. Relativa (%)	
ADITIVO	RGA S346	FECHA	Octubre- Noviembre			24	99	
DOSIFICACION DEL CEMENTO	66% CLINKER , 25% PUZOLANA, 6% CALIZA y 3% YESO							
IDENTIFICACION	INEN 490	CP	D1	D2	D3	D4		
Ad. Dosificación (mL/Ton)	0	0	500	1000	1500	2000		
Aditivo (%)	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2		
ANALISIS QUIMICO								
Perd. Fuego	máx. 5	4,06	4,06	4,06	4,06	4,06		
SiO2		32,37	32,54	32,94	32,41	32,31		
Al2O3		6,64	6,52	6,56	6,58	6,55		
Fe2O3		3,18	3,18	3,19	3,18	3,18		
CaO		48,64	48,74	48,17	48,66	48,83		
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		
Na2O		0,89	0,83	0,87	0,89	0,87		
K2O		0,95	0,92	0,97	0,95	0,94		
TiO2		0,32	0,32	0,32	0,32	0,32		
TOTAL (%)		100	100	100	100	100		
Cal Libre		0,42	0,42	0,42	0,42	0,42		
Res. Insoluble		22,09	22,09	22,09	22,09	22,09		
S. Alcalis		1,53	1,47	1,54	1,53	1,51		
ENSAYOS FISICOS								
H2O pasta (mL)		156	156	156	156	156		
Consistencia Normal		24	24	24	24	24		

Fraguado Inicial (min)	> 45	162	148	130	133	153		
Fraguado Final (h)	< 7	3,72	3,63	3,17	3,33	3,72		
Densidad (g/cm ³)		2,8944	2,9358	2,9032	2,8846	2,8852		
Peso volumétrico		0,9507	0,9773	0,9899	0,9987	0,9972		
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		
H ₂ O mortero (mL)		300	295	295	295	295		
Fluidez (cm)		113	115	110	106	108		
BLAINE (cm ² /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 COMPRESION (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		
OBSERVACIONES:	Cantidad de total dosificada 1000g y tiempo de molienda 1h CP: Cemento Patrón (sin aditivo) D1: Cemento con 0,05% de aditivo D D2: Cemento con 0,1% de aditivo D D3: Cemento con 0,15% de aditivo D D4: Cemento con 0,2% de aditivo D							

Carlos Rivadeneira

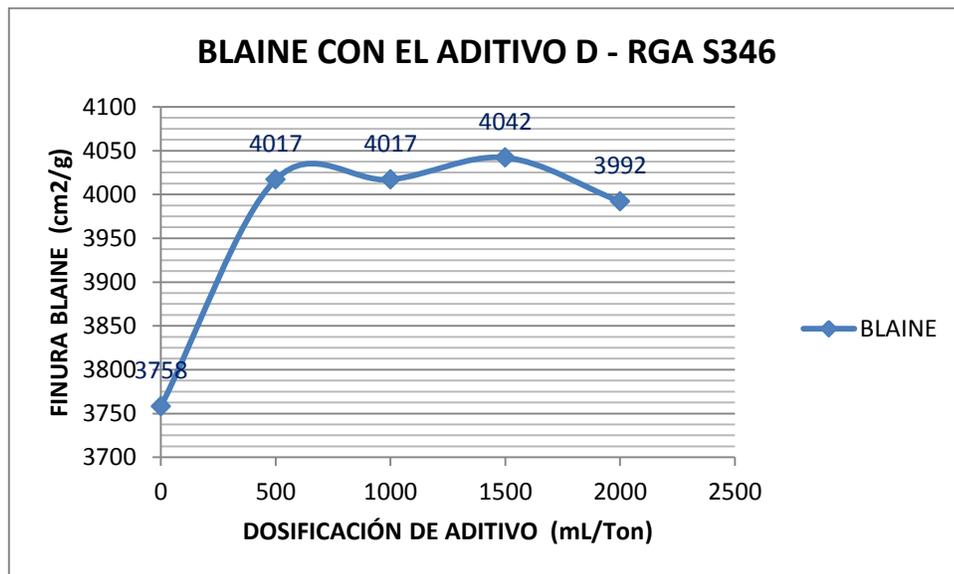
A continuación se representan en gráficos, los parámetros más importantes a controlar del cemento para determinar la eficiencia del aditivo D:

Figura 21. % Retenido en malla N°325 con el aditivo D - RGA S346



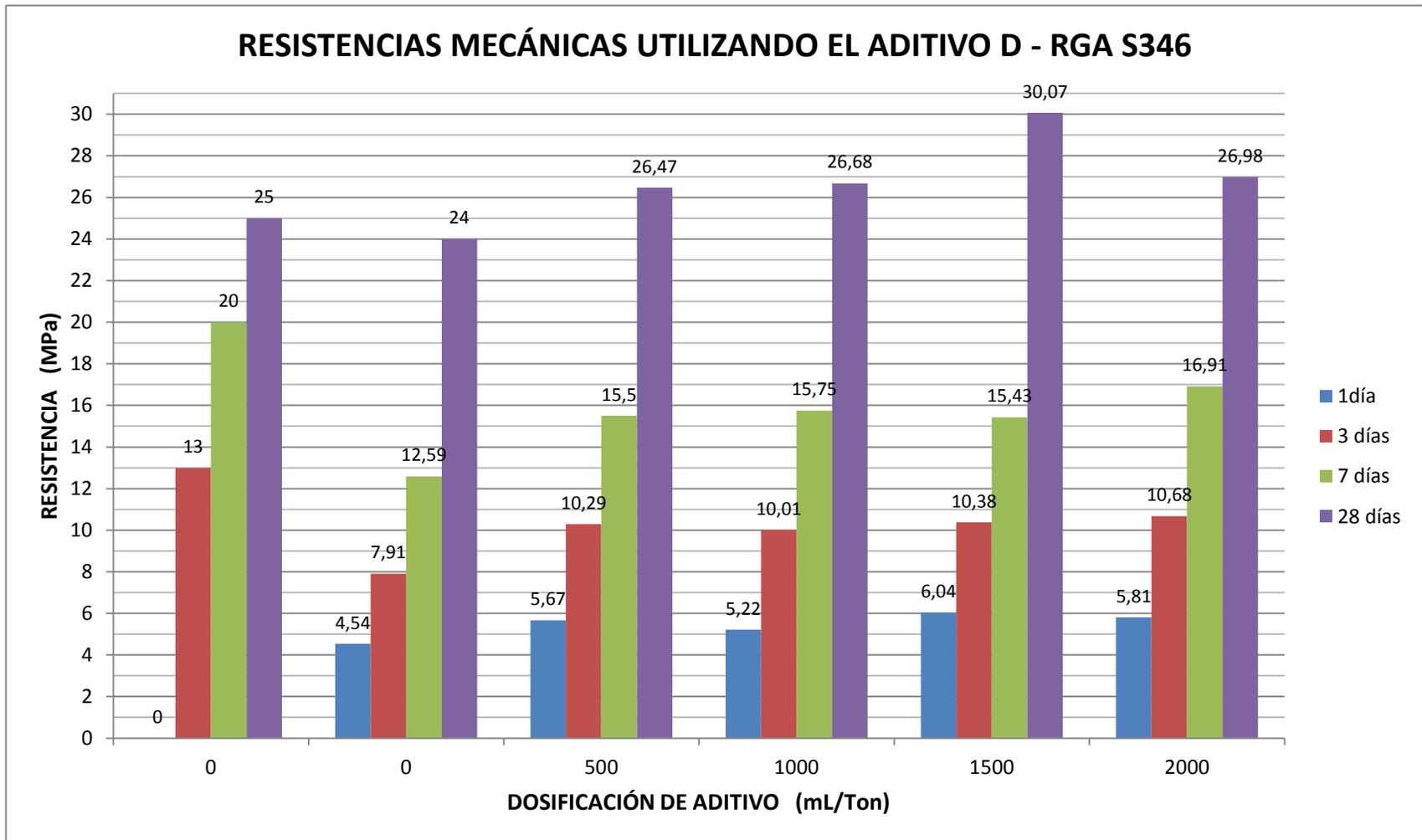
Carlos Rivadeneira

Figura 22. Blaine con el aditivo D - RGA S346



Carlos Rivadeneira

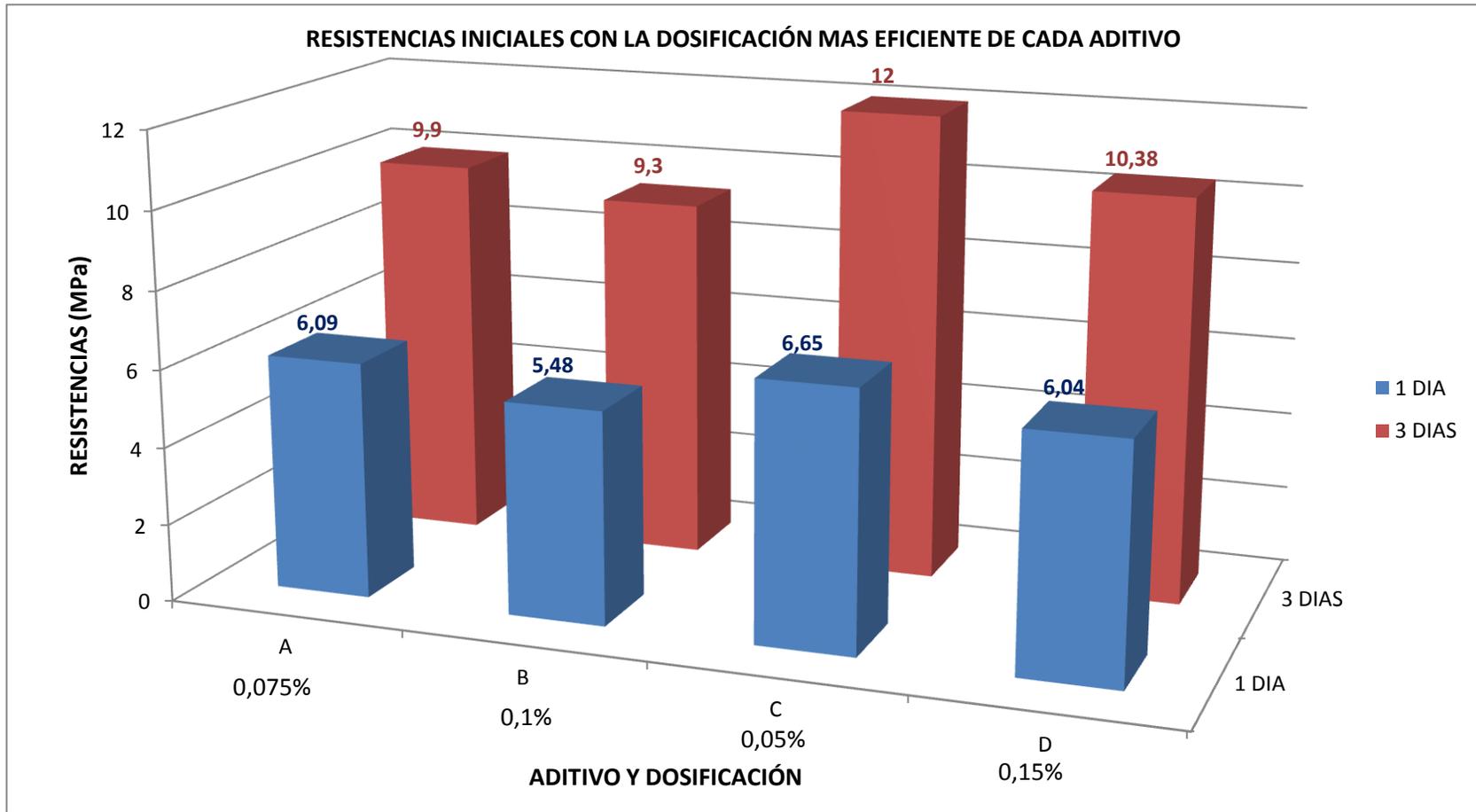
Figura 23. Resistencias mecánicas utilizando el aditivo D - RGA S346



Carlos Rivadeneira

3.1.3.1.1.5 Comparación de las resistencias iniciales utilizando los aditivos sintéticos.

Figura 24. Resistencias iniciales con la dosificación más eficiente de cada aditivo



Carlos Rivadeneira

3.1.3.1.2 Dosificación de aditivos naturales al cemento.

3.1.3.1.2.1 Adición de 15% puzolana.

Tabla 21. Resultados con dosificación de 15% puzolana

		CONTROL DE CALIDAD				Cuarto de curado		
						T(°C) Amb.	T (°C) Agua Curado	H. Relativa (%)
		REPORTE DE ENSAYOS FISICOS Y QUIMICOS				24,5	20,5	44
						Gabinete Húmedo		
						T (°C)	H. Relativa (%)	
ADITIVO	Todos	FECHA	Diciembre-Enero			24	99	
DOSIFICACION DEL CEMENTO	76% CLINKER , 15% PUZOLANA, 6% CALIZA y 3% YESO							
IDENTIFICACION	INEN 490	CA3	CB4	CC4	CD3			
Ad. Dosis (ml/Ton)	0	750	1000	500	1500			
Aditivo (%)	0	0,075	0,1	0,05	0,15			
ANALISIS QUIMICO								
Perd. Fuego	máx. 5	3,93	3,93	3,93	3,93			
SiO2		28,02	28,15	28,08	28,14			
Al2O3		5,82	5,79	5,82	5,80			
Fe2O3		3,16	3,17	3,18	3,18			
CaO		54,31	54,33	54,33	54,34			
MgO	máx. 6	1,24	1,14	1,15	1,14			
SO3	máx. 4	1,88	1,93	1,96	1,90			
Na2O		0,67	0,62	0,62	0,63			
K2O		0,67	0,64	0,62	0,62			
TiO2		0,31	0,30	0,31	0,31			
TOTAL (%)		100	100	100	100			
Cal Libre		0,48	0,48	0,48	0,48			
Res. Insoluble		12,33	12,33	12,33	12,33			
S. Alcalis		1,11	1,05	1,03	1,04			

ENSAYOS FISICOS

H2O pasta (mL)		154	152	154	156			
Consistencia Normal		23,7	23,4	23,7	24			
Fraguado Inicial (min)	> 45	139	148	130	115			
Fraguado Final (h)	< 7	3,27	3,4	3,12	2,83			
Densidad (g/cm3)		3,0684	3,0052	3,0142	3,0403			
Peso volumétrico		1,0433	1,0584	1,0406	1,0573			
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			
H2O mortero (mL)		292	292	292	292			
Fluidez (cm)		107	106	105	106			
BLAINE (cm2/g)		3543	3514	3600	3572			
Retenido Malla N° 325 (%)		19,62	20,91	18,07	19,28			

RESISTENCIA A LA COMPRESION (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			

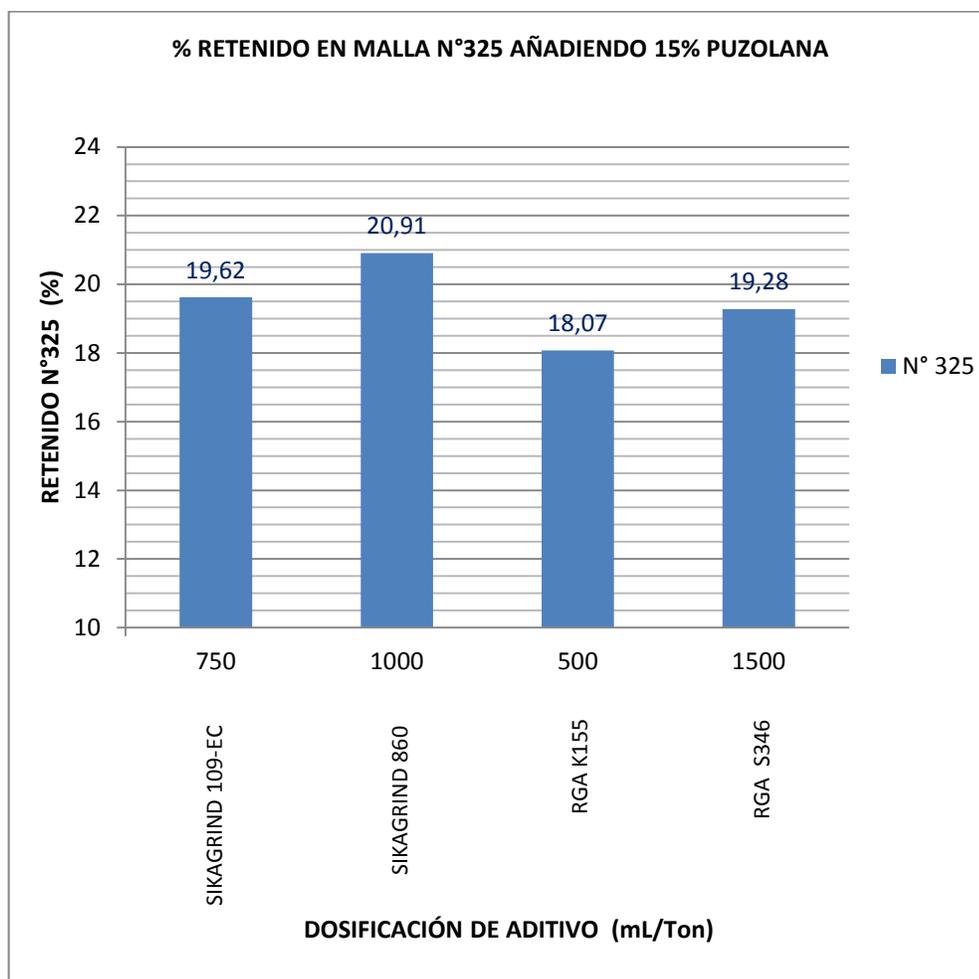
OBSERVACIONES:

Cantidad de total dosificada 1000g y tiempo de molienda 1h
 CA3: Cemento con 15% Puzolana y 0,075% aditivo A CB4: Cemento con 15% Puzolana 0,1% aditivo B
 CC4: Cemento con 15% Puzolana y 0,05% aditivo C CD3: Cemento con 15% Puzolana y 0,15% aditivo D

Carlos Rivadeneira

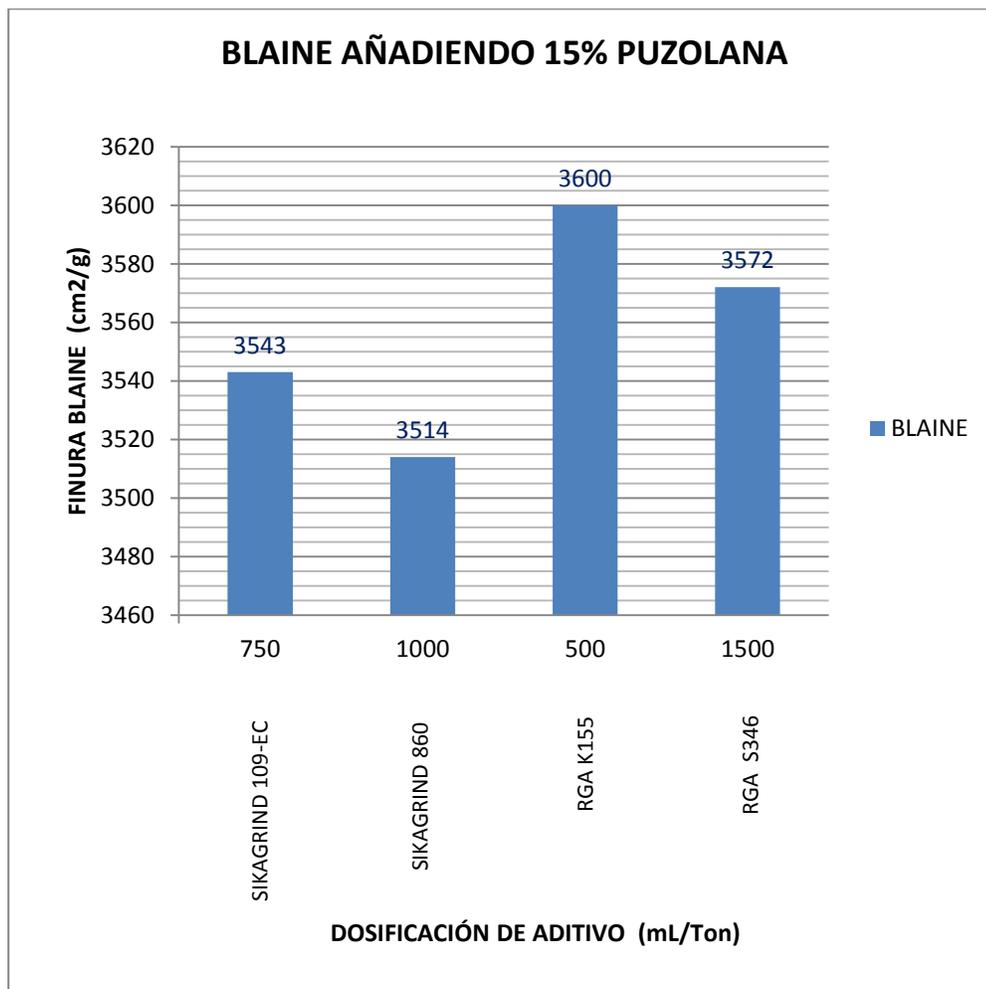
A continuación se representan los gráficos de los parámetros más importantes a controlar del cemento:

Figura 25. % Retenido en malla N°325 añadiendo 15% puzolana



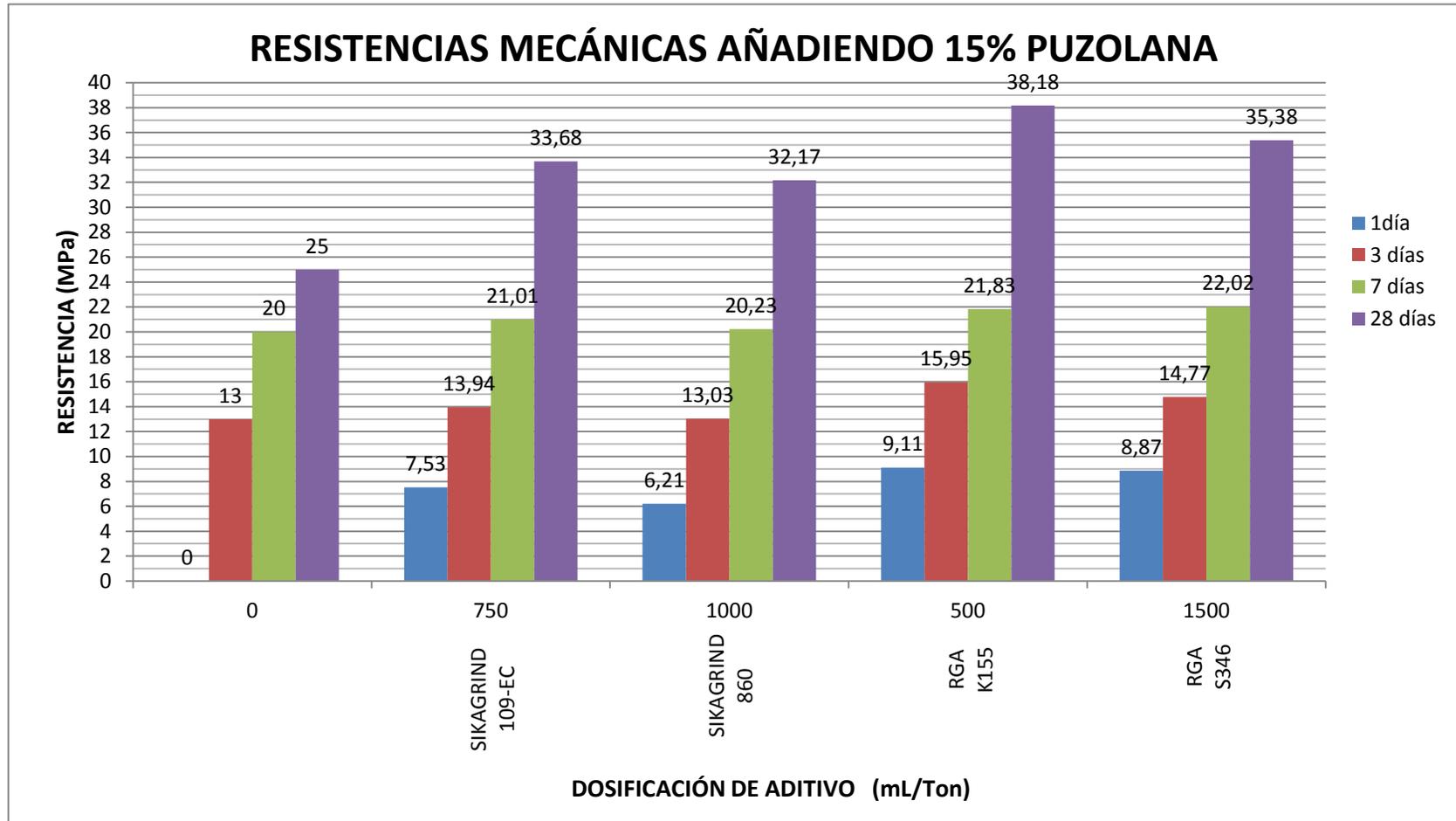
Carlos Rivadeneira

Figura 36. Blaine añadiendo 15% puzolana



Carlos Rivadeneira

Figura 27. Resistencias mecánicas añadiendo 15% puzolana



Carlos Rivadeneira

3.1.3.1.2.2 Adición de 20% puzolana.

Tabla 22. Resultados con dosificación de 20% puzolana

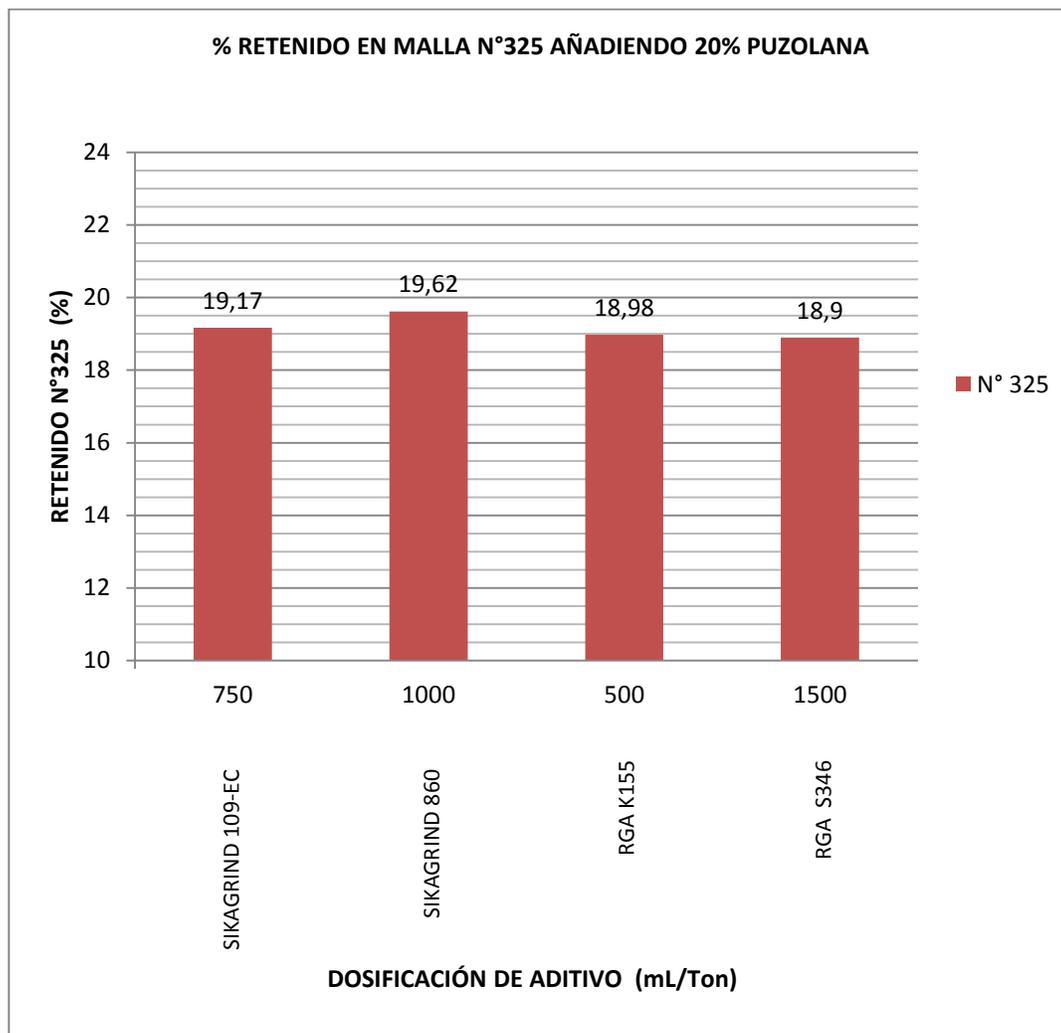
		CONTROL DE CALIDAD				Cuarto de curado		
						T(°C) Amb.	T (°C) Agua Curado	H. Relativa (%)
		REPORTE DE ENSAYOS FISICOS Y QUIMICOS				24,5	20,5	44
						Gabinete Húmedo		T (°C)
ADITIVO	Todos	FECHA	Diciembre-Enero		24	99		
DOSIFICACION DEL CEMENTO	71% CLINKER , 20% PUZOLANA, 6% CALIZA y 3% YESO							
IDENTIFICACION	INEN 490	CA3	CB4	CC4	CD3			
Ad. Dosis (ml/Ton)	0	750	1000	500	1500			
Aditivo (%)	0	0,075	0,1	0,05	0,15			
ANALISIS QUIMICO								
Perd. Fuego	máx. 5	3,91	3,91	3,91	3,91			
SiO ₂		28,03	28,15	28,09	28,15			
Al ₂ O ₃		5,82	5,79	5,82	5,81			
Fe ₂ O ₃		3,16	3,17	3,18	3,18			
CaO		54,32	54,34	54,34	54,35			
MgO	máx. 6	1,24	1,14	1,15	1,14			
SO ₃	máx. 4	1,88	1,93	1,96	1,90			
Na ₂ O		0,67	0,62	0,62	0,63			
K ₂ O		0,67	0,64	0,62	0,62			
TiO ₂		0,31	0,30	0,31	0,31			
TOTAL (%)		100	100	100	100			
Cal Libre		0,45	0,45	0,45	0,45			
Res. Insoluble		17,1	17,1	17,1	17,1			
S. Alcalis		1,11	1,05	1,03	1,04			
ENSAYOS FISICOS								
H ₂ O pasta (mL)		156	154	156	156			
Consistencia Normal		24	23,7	24	24			

Fraguado Inicial (min)	> 45	145	154	132	118			
Fraguado Final (h)	< 7	3,28	3,25	3,38	3,1			
Densidad (g/cm ³)		2,9692	2,9249	2,9587	2,9436			
Peso volumétrico		1,0311	1,0168	1,0274	1,0235			
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			
H2O mortero (mL)		297	297	297	297			
Fluidez (cm)		106	107	106	105			
BLAINE (cm ² /g)		3722	3694	3749	3776			
Retenido Malla N° 325 (%)		19,17	19,62	18,98	18,9			
RESISTENCIA A LA COMPRESION (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			
OBSERVACIONES:	Cantidad de total dosificada 1000g y tiempo de molienda 1h CA3: Cemento con 20% Puzolana y 0,075% aditivo A CB4: Cemento con 20% Puzolana 0,1% aditivo B CC4: Cemento con 20% Puzolana y 0,05% aditivo C CD3: Cemento con 20% Puzolana y 0,15% aditivo D							

Carlos Rivadeneira

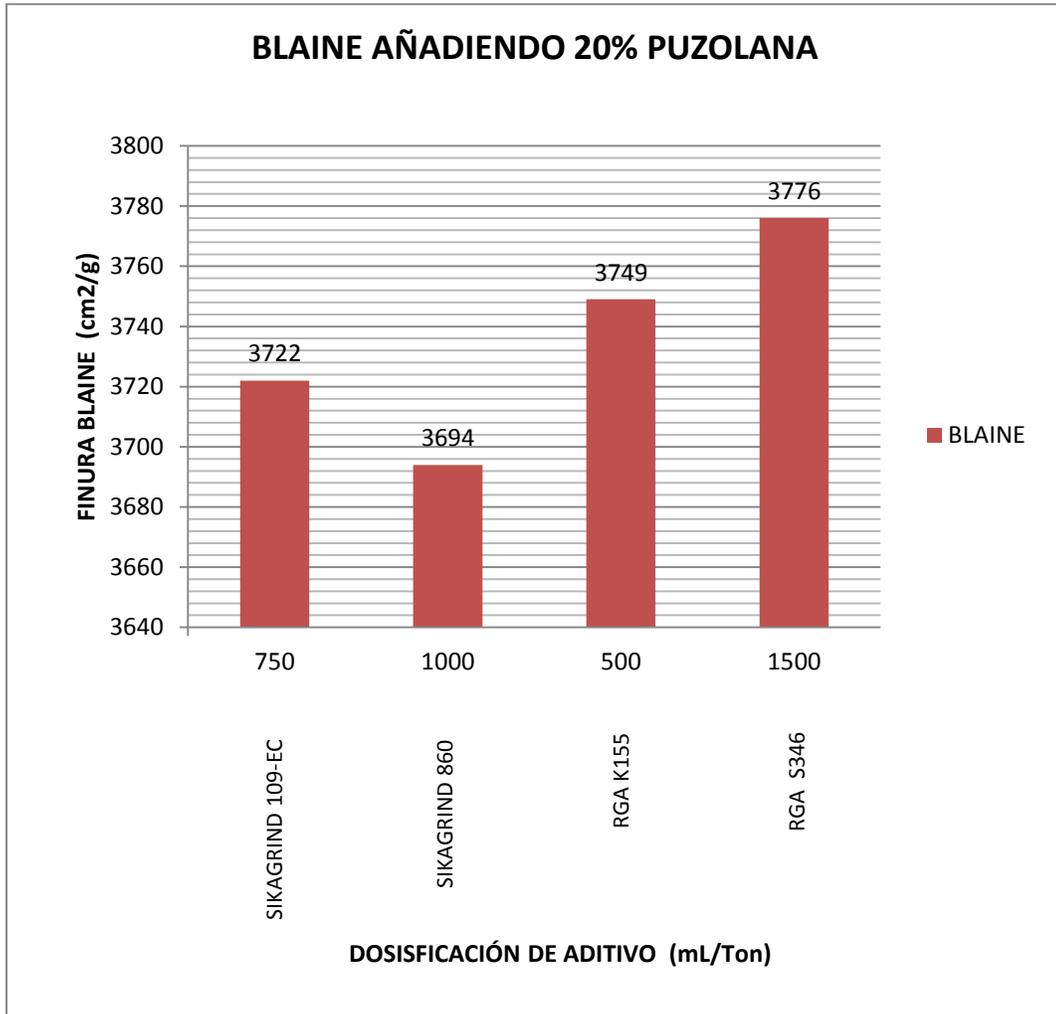
A continuación se representan los gráficos de los parámetros más importantes a controlar del cemento:

Figura 28. % Retenido en malla N° 325 añadiendo 20% puzolana



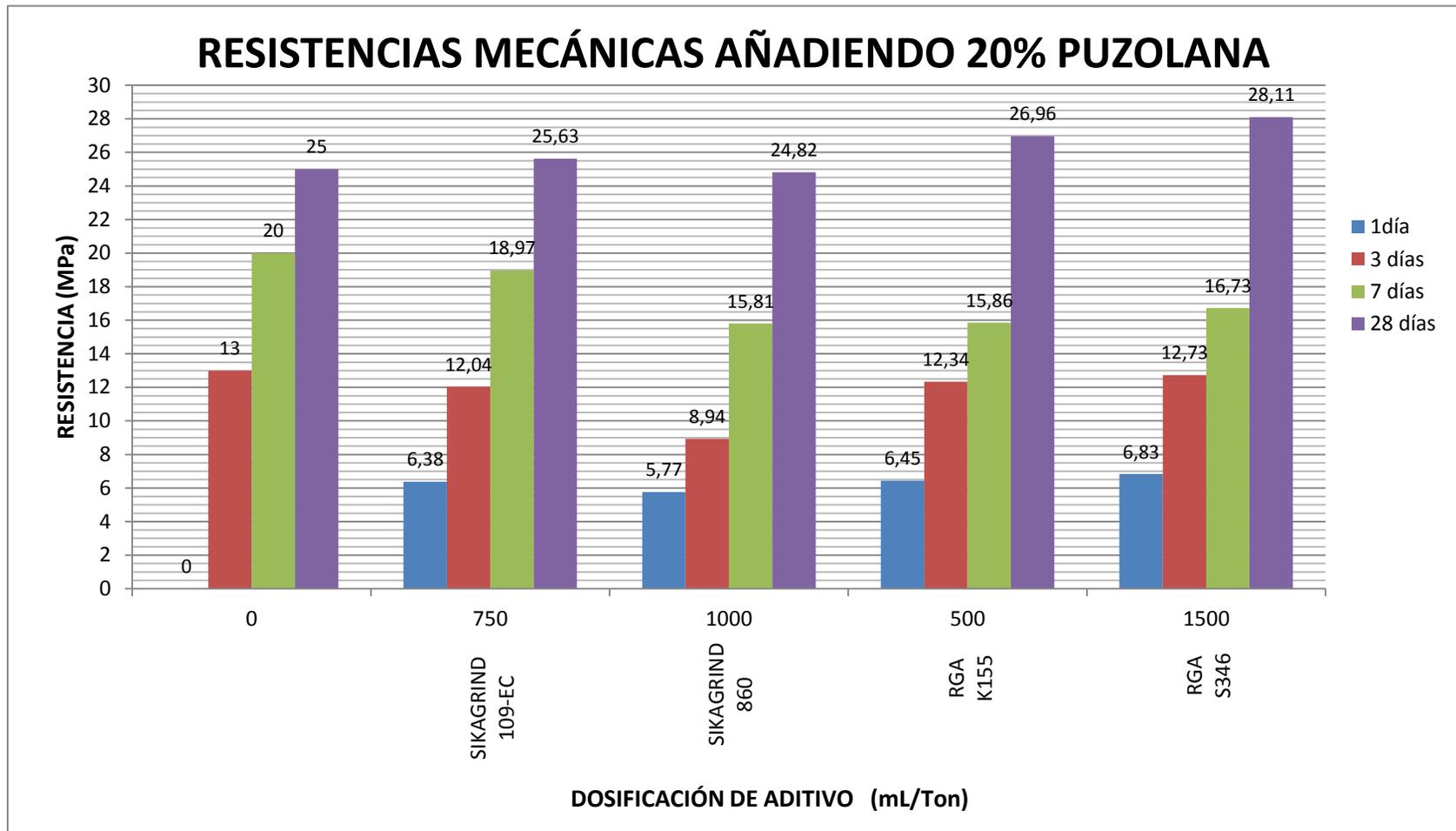
Carlos Rivadeneira

Figura 29. Blaine 20% puzolana



Carlos Rivadeneira

Figura 30. Resistencias mecánicas añadiendo 20% puzolana



Carlos Rivadeneira

3.1.4 Costos y beneficios.

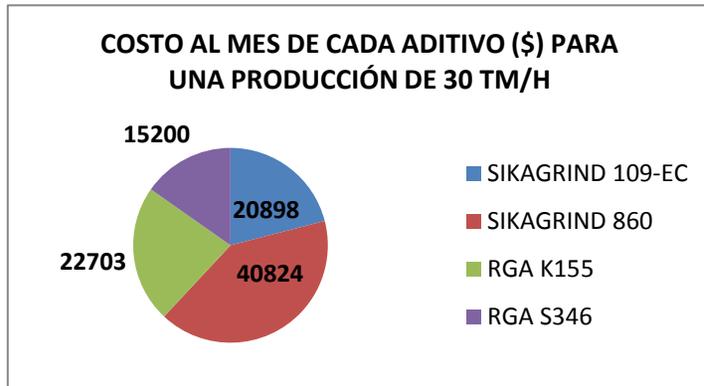
Tabla 23. Costos y beneficios de los aditivos

ADITIVO	SIKAGRIND (SIKA)			RGA (RUREDIL)	
		A	B	C	D
	300	109-EC	860	K155	S346
MEJORAMIENTO DE MALLA (%)	16	16,7	8,77	18,67	10,46
DOSIS ADITIVO (g/TM)	300	750	1000	500	1500
PRODUCCION (TM/H) ALLIS	30	30	30	30	30
DOSIS ADITIVO (Kg/TM)	0,3	0,75	1	0,5	1,5
CONSUMO ADITIVO (Kg/H)	9	22,5	30	15	45
CONSUMO DIA (Kg)	216	540	720	360	1080
CONSUMO MES (Kg)	6480	16200	21600	10800	32400
PRECIO ADITIVO (\$/Kg)	1,67	1,29	1,89	2,10	0,47
COSTO MES ADITIVO (\$)	10822	20898	40824	22703	15200
AUMENTO PRODUCCION ALLIS (%)	5	5,2	2,7	5,8	3,3
AUMENTO PRODUCCION MES (TON)	1080,0	1127,3	592,0	1260,2	706,1
BENEFICIO (40 \$/TON)/MES	43200	45090	23679	50409	28242
BENEFICIO NETO /MES	32378	24192	-17145	27706	13042
BENEFICIO AÑO (\$)	388541	290304	-205740	332469	156510
AUMENTO EN ADICION PUZOLANA (%)	1	1	1	1	1
PUZOLANA ADICIONADA (TM/MES)	216	216	216	216	216
PUZOLANA ADICIONADA AÑO (TM)	2592	2592	2592	2592	2592
BENEFICIO (44\$/TM)/AÑO	114048	114048	114048	114048	114048
BENEFICIO TOTAL AÑO (\$)	502589	404352	-91692	446517	270558

Investigaciones anteriores de aditivos en la empresa

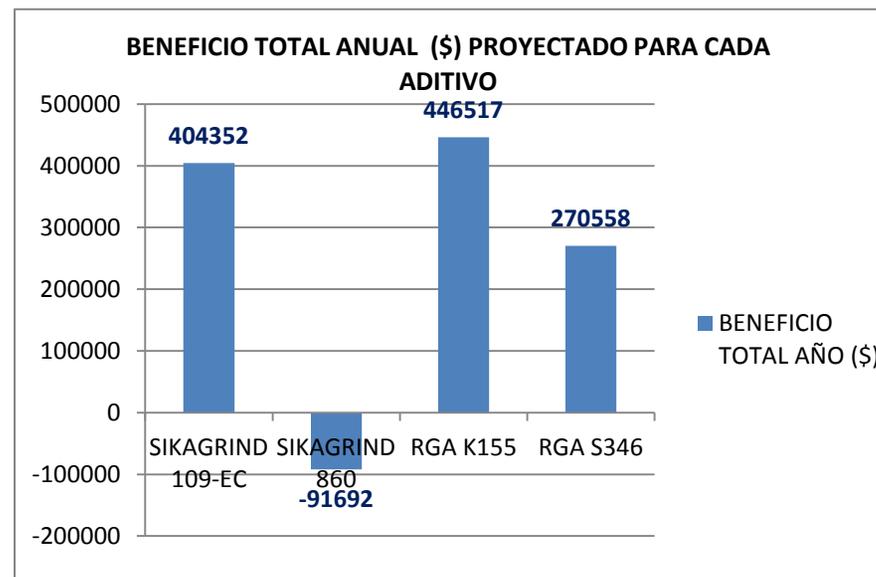
Los siguientes gráficos representan de manera ilustrativa los costos al mes (\$) en la compra de cada aditivo, relacionados con una producción de 30 TM/H con la que trabaja el molino ALLIS y el beneficio total (\$) al año relacionado con un aumento de producción, gracias al % de mejoramiento de la malla N°325 y al aumento de las resistencias iniciales del cemento que permitirán aumentar el porcentaje de Puzolana.

Figura 31. Costo al mes de cada aditivo (\$) para una producción de 30 TM/h



Carlos Rivadeneira

Figura 32. Beneficio total anual (\$) proyectado para cada aditivo



Carlos Rivadeneira

3.1.5 Resultados de análisis en el molino de ensayos de la Empresa HORMICRETO-Cuenca.

Tabla 24. Resultados de ensayos en el molino de ensayos de la Empresa HORMICRETO-Cuenca

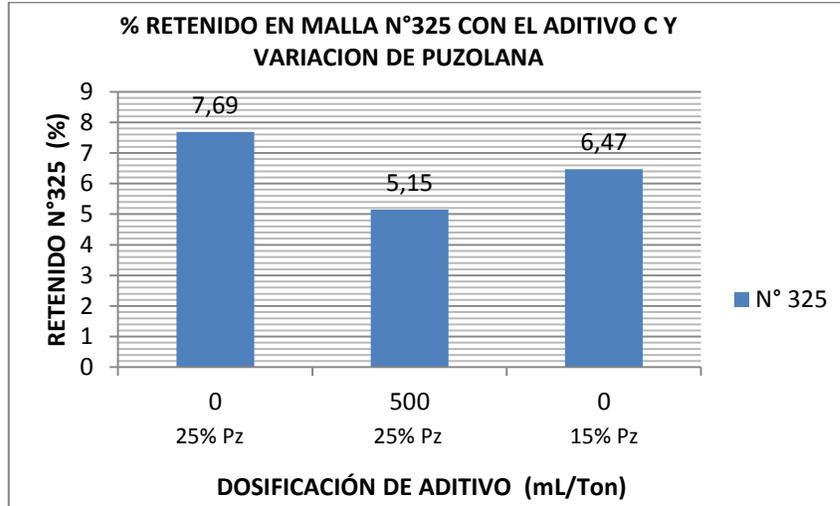
		CONTROL DE CALIDAD				Cuarto de curado			
						T(°C) Amb.	T (°C) Agua Curado	H. Relativa (%)	
REPORTE DE ENSAYOS FISICOS Y QUIMICOS		RGA K155 FECHA Diciembre - Enero				24,5	20,5	44	
						Gabinete Húmedo			
						T (°C)	H. Relativa (%)		
ADITIVO		RGA K155		FECHA		24		99	
IDENTIFICACION		INEN 490	CL	B	P1	P2			
Ad. Dosis (ml/Ton)				0	500	0			
Aditivo (%)				0	0	0			
ANALISIS QUIMICO									
Perd. Fuego	máx. 5	0,4	3,98	3,98	4,1				
SiO2		22,44	31,61	32,35	28,83				
Al2O3		4,20	6,52	6,68	6,03				
Fe2O3		3,36	3,09	3,09	3,10				
CaO		66,01	47,96	46,75	51,32				
MgO	máx. 6	2,20	1,56	1,51	1,65				
SO3	máx. 4	0,65	2,81	3,06	2,86				
Na2O		0,05	1,08	1,13	0,94				
K2O		0,40	1,08	1,14	0,88				
TiO2		0,29	0,31	0,31	0,29				
TOTAL (%)		100	100	100	100				
SC		94,33							
MS		2,97							
MA		1,25							
S. Alcalis		0,31							
C3S		61,29							
C2S		18,15							
C3A		5,46							

C4AF		10,21						
% Yeso			5	5	5			
% Puzolana			25	25	15			
% Caliza			6	6	6			
% CL			64	64	74			
TOTAL (%)			100	100	100			
ENASAYOS FISICOS								
H2O mortero (mL)			290	295	295			
Fluidez (cm)			112	110	112			
Retenido malla N°325 (%)			7,69	5,15	6,47			
BLAINE (cm ² /g)			4668	4920	4897			
RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa) : CUBOS								
1 día	0		5,43	6,51	8,3			
3 días	13		8,68	11,86	14			
7 días	20		13,09	14,97	18,06			
28 días	25		23,07	28,99	27,64			
OBSERVACIONES:	Cantidad de total dosificada 1000g y tiempo de molienda 1h CL: Clínter que ingresa al molino CM4 (100TM/H) B: Blanco (cemento con 25% Puzolana y sin aditivo) P1: Cemento con 25% Puzolana y 0,05% de aditivo C P2: Cemento con 15% Puzolana y sin aditivo							

Carlos Rivadeneira

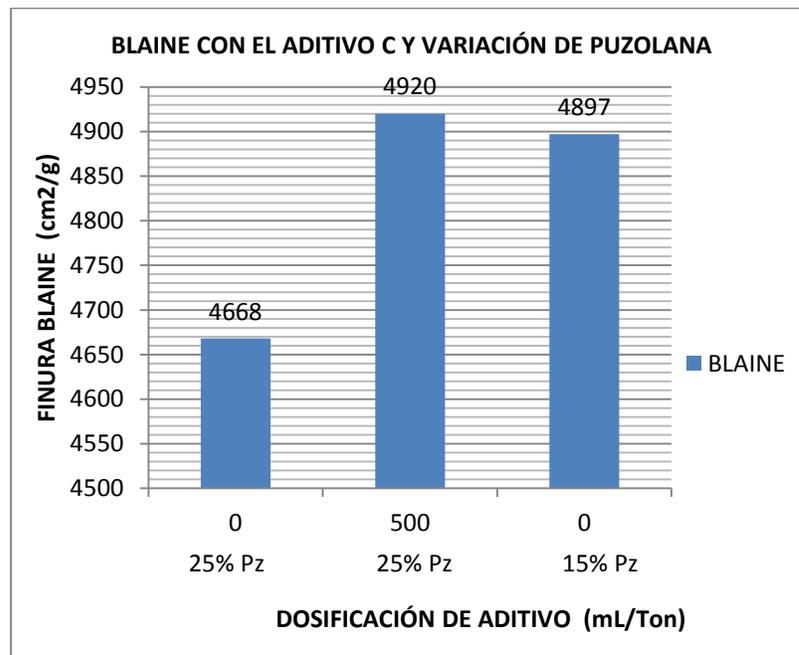
A continuación se representan los gráficos de los parámetros más importantes a controlar del cemento:

Figura 33. %Retenido en malla N°325 con el aditivo C y variación de puzolana



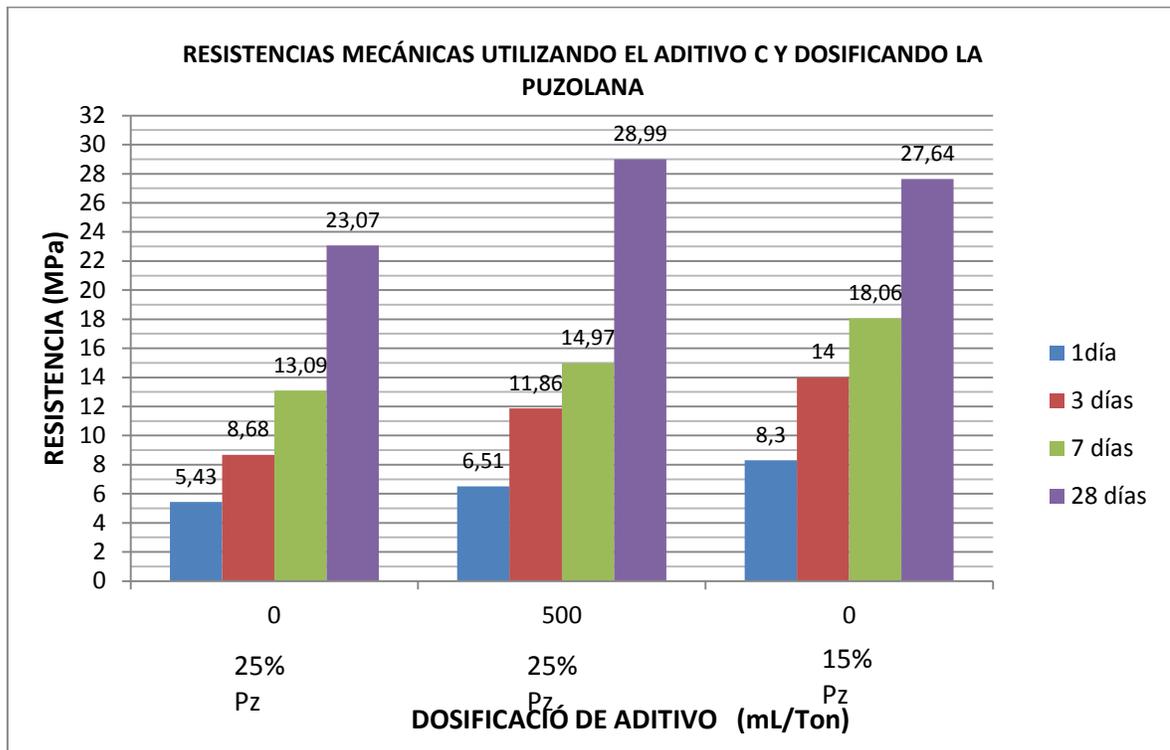
Carlos Rivadeneira

Figura 34. Blaine con el aditivo C y variación de puzolana



Carlos Rivadeneira

Figura 35. Resistencias mecánicas utilizando el aditivo C y dosificando la puzolana



Carlos Rivadeneira

3.2 Discusión de resultados

- Al analizar la tabla 14, en la cual se presenta la composición química de las materias primas como: yeso, caliza y puzolana. Según los resultados tenemos un yeso proveniente de EDESA con 41,92% SO_3 que nos da alrededor de un 90,13% Yeso.

La caliza proveniente de Cuiquiloma-Perfil 0, así mismo como material de adición en la molienda tiene un 79,75% CaCO_3 y se encuentra dentro de los 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. Por otro lado la Puzolana que proviene de Los Pinos tiene un 65,74% SiO_2 , a dicha puzolana se realizó la determinación del índice de la actividad puzolánica por el método del cemento tabla 15, 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.

Por último tenemos al clínker que es el resultado del proceso de sinterización o clinkerización realizado en la empresa, a éste material se le hizo 2 diferentes métodos de análisis y la mineralogía, ubicados en la tabla 16, pero que tienen en común indicarnos las fases del clínker que es lo más importante. Según el método de espectrometría de rayos x el clínker tiene 63,99% C_3S , 16,64% C_2S , 5,07% C_3A y 11,24% C_4AF ; en segundo plano tenemos a las fases según el análisis gravimétrico 51,67% C_3S , 27,79% C_2S , 6,51% C_3A y 10,92% C_4AF y según la composición mineralógica da 56,23% C_3S , 29,46% C_2S , 1,38% C_3A y 12,27% C_4AF . Cabe indicar que los óxidos no varían mucho. Los datos más exactos, tomando como referencia los resultados de las resistencias mecánicas obtenidas, son los determinados por el método gravimétrico.

- Para encontrar la dosificación más eficiente de cada aditivo, se empleó constantemente en la molienda 25% Puzolana, 3% Yeso, 6% Caliza, 66% Clínker y el aditivo, cuyo porcentaje es expresado en porcentaje de la masa total. A continuación se indicarán los parámetros más importantes y los valores más representativos

Con el aditivo A (véase tabla 17) la composición química se mantiene casi inalterable y están dentro de los rangos permitidos por la norma INEN 490, en cuanto a los análisis

físicos, el tiempo de fraguado inicial es de 162 min para el blanco, 130 min para una dosis de 0,15% y 145 min en 0,075% de aditivo; el tiempo de fraguado final para el blanco es de 3,72 h, 3,57 h con 0,075% y 0,1% de aditivo y 3,33 h para una dosis de 0,15%; con respecto al contenido de aire el blanco presenta 1,5259%, 1,4735% para una dosis de 0,075% y 2,2055% para 0,15% de aditivo; en cuanto a la expansión o contracción en autoclave se tiene una expansión del 0,0196% para el blanco, 0,01944% para una dosis de 0,1% y 0,03268% con 0,125% de aditivo; en el porcentaje de mejoramiento de malla N°325 tenemos a la dosis más eficiente de 0,075% de aditivo con un mejoramiento de 16,7%; los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la norma INEN 490. En las resistencias iniciales se tiene 4,54MPa para el blanco, 5,54MPa con 0,025% de aditivo y 6,67MPa para una dosis de 0,125% a un día; a los 3 días las resistencias son de 7,91MPa para el blanco, 8,58 MPa con 0,025% de aditivo y 11,97 MPa con 0,125% de aditivo; las resistencias a 7 días varían entre 2-3MPa y a 28 días no existe mucha variación; en cuanto a las especificaciones de la norma INEN 490 solo las resistencias a 28 días llegan a cumplirla. En las figuras 12 y 13 se indica la variación de retenido en la malla N°325 y el Blaine correspondiente a cada finura. Las resistencias mecánicas alcanzadas por el aditivo están mejor representadas en la figura 14.

Para el aditivo B (véase tabla 18) de igual manera la composición química se mantiene casi inalterable y están dentro de los rangos permitidos por la norma INEN 490, en cuanto a los análisis físicos, el tiempo de fraguado inicial es de 162 min para el blanco, 177 min para una dosis de 0,1% y 199 min en 0,025% de aditivo; el tiempo de fraguado final para el blanco es de 3,72 h, 4,1 h para una dosis de 0,05% y 0,1% y 4,78 h para 0,075% de aditivo; con respecto al contenido de aire el blanco presenta 1,5259%, 1,8478% para una dosis de 0,125% y 2,1483% para 0,025% de aditivo; en cuanto a la expansión o contracción en autoclave se tiene una expansión del 0,0196% para el blanco y contracción de -0,0463% para una dosis de 0,025% y -0,0079% con 0,05% de aditivo; en el porcentaje de mejoramiento de malla N°325 tenemos a la dosis más eficiente de 0,1% de aditivo con un mejoramiento de 8,77%; los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la norma INEN 490. En las resistencias iniciales se tiene 4,54MPa para el blanco, 4,23MPa con 0,15% de aditivo y 5,48MPa para una dosis de 0,1% a un día; a los 3 días las resistencias son de 7,91MPa para el blanco, 8,54MPa con 0,075% de aditivo y 10,82MPa con 0,125% de aditivo; las resistencias a 7 días varían entre 1-2MPa y a 28 días solo las dosis de

0,075% y 0,15% de aditivo no cumplen con la norma INEN 490 al igual que las resistencias anteriores. En las figuras 15 y 16 se indica la variación de retenido en la malla N°325 y el Blaine correspondiente a cada finura. Las resistencias mecánicas alcanzadas por el aditivo están mejor representadas en la figura 17.

Con el aditivo C (véase tabla 19) la composición química se mantiene casi inalterable y están dentro de los rangos permitidos por la norma INEN 490, en cuanto a los análisis físicos, el tiempo de fraguado inicial es de 162 min para el blanco, 120 min para una dosis de 0,03% y 150 min en 0,06% de aditivo; el tiempo de fraguado final para el blanco es de 3,72 h, 3 h con 0,02% y 0,03% de aditivo y 3,92 h para una dosis de 0,06%; con respecto al contenido de aire el blanco presenta 1,5259%, 1,3978% para una dosis de 0,02% y 2,3777% para 0,03% de aditivo; en cuanto a la expansión o contracción en autoclave se tiene una expansión del 0,0196% para el blanco, una contracción de -0,0463% para una dosis de 0,05% y 0,0031% de expansión con 0,06% de aditivo; en el porcentaje de mejoramiento de malla N°325 tenemos a la dosis más eficiente de 0,05% de aditivo con un mejoramiento de 18,67%; los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la norma INEN 490. En las resistencias iniciales se tiene 4,54MPa para el blanco, 5,93MPa con 0,03% de aditivo y 6,65MPa para una dosis de 0,05% a un día; a los 3 días las resistencias son de 7,91MPa para el blanco, 10,81 MPa con 0,03% de aditivo y 12 MPa con 0,05% de aditivo; las resistencias a 7 días varían entre 3-4MPa y a 28 días si existe variación y en cuanto a las especificaciones de la norma INEN 490 solo las resistencias a 28 días llegan a cumplirla satisfactoriamente. En las figuras 18 y 19 se indica la variación de retenido en la malla N°325 y el Blaine correspondiente a cada finura. Las resistencias mecánicas alcanzadas por el aditivo están mejor representadas en la figura 20.

En el aditivo D (véase tabla 20) de igual manera la composición química se mantiene casi inalterable y están dentro de los rangos permitidos por la norma INEN 490, en cuanto a los análisis físicos, el tiempo de fraguado inicial es de 162 min para el blanco, 130 min para una dosis de 0,1% y 153 min en 0,2% de aditivo; el tiempo de fraguado final para el blanco es de 3,72 h, 3,17 h para una dosis de 0,1% y 3,72 h para 0,2% de aditivo; con respecto al contenido de aire el blanco presenta 1,5259%, 2,0256% para una dosis de 0,1% y 2,2798% para 0,05% de aditivo; en cuanto a la expansión o contracción en autoclave se tiene una expansión del 0,0196% para el blanco y contracción de -0,01581% para una dosis de 0,05% y -0,00315% con 0,2% de aditivo;

en el porcentaje de mejoramiento de malla N°325 tenemos a la dosis más eficiente de 0,15% de aditivo con un mejoramiento de 10,46%; los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la norma INEN 490. En las resistencias iniciales se tiene 4,54MPa para el blanco, 5,22MPa con 0,1% de aditivo y 6,04MPa para una dosis de 0,15% a un día; a los 3 días las resistencias son de 7,91MPa para el blanco, 10,01MPa con 0,1% de aditivo y 10,68MPa con 0,2% de aditivo; las resistencias a 7 días varían entre 2-3MPa y a 28 días no varían mucho pero con 0,015% de aditivo se tiene 30,07MPa; así se tiene que sólo las resistencias a 28 días cumplen con la norma INEN 490. En las figuras 21 y 22 se indica la variación de retenido en la malla N°325 y el Blaine correspondiente a cada finura. Las resistencias mecánicas alcanzadas por el aditivo están mejor representadas en la figura 23.

La figura 24 representa gráficamente las resistencias iniciales de las dosificaciones más eficientes de los cuatro aditivos investigados, donde el aditivo C resulta ser más eficiente.

- Para encontrar la dosificación óptima de puzolana, capaz de cumplir con los requisitos de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 490:2011 para Cementos Hidráulicos Compuestos, Requisitos., se fue variando la puzolana desde un 15%, 20% y 25% antes analizado incluyendo la dosificación más eficiente de cada aditivo, de igual manera se indicarán los parámetros más importantes y valores más representativos.

Para una adición del 15% de puzolana (véase tabla 21) la composición química de los 4 cementos diferentes no tiene mucha variación y cumple con la norma INEN 490; en cuanto a los análisis físicos, el tiempo de fraguado inicial es de 115 min con 0,15% de aditivo D y 148 min con 0,1% de aditivo B; el tiempo de fraguado final es de 2,83 h con 0,15% de aditivo D y 3,4 h con 0,1% de aditivo B; con respecto al contenido de aire se tiene 2,7670% con 0,15% de aditivo D y 2,9009% con 0,1% de aditivo B; en cuanto a la expansión o contracción en autoclave se tiene una contracción de -0,0227% con 0,075% de aditivo A y -0,0016% con 0,15% de aditivo D; los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la norma INEN 490. En las resistencias iniciales se tiene 6,21MPa con 0,1% de aditivo B y 9,11MPa con 0,05% de aditivo C a un día; a los 3 días las resistencias son de 13,03MPa con 0,1% de aditivo B y 15,95MPa con 0,05% de aditivo C; las resistencias a 7 días varían entre 1MPa y a 28

días no varían mucho pero con 0,15% de aditivo D la resistencia es de 38,18MPa; así se tiene que todas las resistencias cumplen con la norma INEN 490. En las figuras 25 y 26 se indica la variación de retenido en la malla N°325 y el Blaine correspondiente a cada finura. Las resistencias mecánicas alcanzadas por la dosificación de puzolana y aditivos están mejor representadas en la figura 27.

Con una adición del 20% de puzolana (véase tabla 22), la composición química de los 4 cementos diferentes no tiene mucha variación y cumple con la norma INEN 490; en cuanto a los análisis físicos, el tiempo de fraguado inicial es de 118 min con 0,15% de aditivo D y 154 min con 0,1% de aditivo B; el tiempo de fraguado final es de 3,1 h con 0,15% de aditivo D y 3,38 h con 0,05% de aditivo C; con respecto al contenido de aire se tiene 2,0472% con 0,075% de aditivo A y 2,4401% con 0,05% de aditivo C; en cuanto a la expansión o contracción en autoclave se tiene una contracción de -0,0148% con 0,15% de aditivo D y -0,0024% con 0,05% de aditivo C; los parámetros físicos antes mencionados están dentro del rango que especifica la norma INEN 490. En las resistencias iniciales se tiene 5,77MPa con 0,1% de aditivo B y 6,83MPa con 0,15% de aditivo D a un día; a los 3 días las resistencias son de 8,94MPa con 0,1% de aditivo B y 12,73MPa con 0,15% de aditivo D; las resistencias a 7 días varían entre 1-3MPa y a 28 días existe cierta variación; así se tiene que todas las resistencias a 3 y 7 días no cumplen con la norma INEN 490 y a 28 días solo la dosificación con el aditivo B tampoco lo hace. En las figuras 28 y 29 se indica la variación de retenido en la malla N°325 y el Blaine correspondiente a cada finura. Las resistencias mecánicas alcanzadas por la dosificación de puzolana y aditivos están mejor representadas en la figura 30.

- Al estimar los costos y beneficios basados en investigaciones anteriores con el aditivo SIKAGRIND 300 con dosificación de 0,03% de la masa total en el molino ALLIS cuya producción es de 30TM/H, se ha visto conveniente realizar una estimación de los costos y beneficios que tuviera la empresa Cemento Chimborazo C. A. en caso de aplicar uno de los aditivos investigados en ésta tesis. Según la tabla 23, el costo al mes de cada aditivo es de 20898\$ para el aditivo A, 40824\$ para el aditivo B, 22703\$ para el aditivo C y 15200\$ para el aditivo D; según el aumento de producción gracias a mejoramiento de la malla N°325 se tiene beneficios anuales de 290304\$ con el aditivo A, 332469\$ con el aditivo C, 156510\$ con el aditivo D y una pérdida de -205740\$ con

el aditivo B; con el aumento de las resistencias, especialmente a tempranas edades se puede aumentar adecuadamente la dosificación de puzolana, de ésta manera en el caso de aumentar 1% de puzolana se tendría un beneficio anual de 114048\$. Así se estima un beneficio total al año de 404352\$ con el aditivo A, 446517\$ con el aditivo C, 270558\$ con el aditivo D y una pérdida de -91692\$ con el aditivo B. Las figuras 31 y 32 indican ilustrativamente el costo al mes de cada aditivo (\$) para una producción de 30 TM/H y beneficio total anual (\$) proyectado para cada aditivo.

- Con el objetivo de disminuir la finura se realizaron pruebas en el molino de laboratorio de la Empresa HORMICRETO, cuyos resultados fueron, en la composición química no existe mucha variación y cumple los parámetros de la norma INEN 490 y en los análisis físicos se realizó solo los más importantes, como el porcentaje de retenido en la malla N°325 dando 7,69% para el blanco con 25% de puzolana, 5,15% con 25% de puzolana y 0,05% del aditivo C y 6,47% con 15% de puzolana sin aditivo y se obtuvo resistencias de 5,43MPa para el blanco con 25% de puzolana, 5,51MPa con 25% de puzolana y 0,05% del aditivo C y 8,3MPa con 15% de puzolana y sin aditivo a un día, 8,68MPa para el blanco con 25% de puzolana, 11,86MPa con 25% de puzolana y 0,05% del aditivo C y 14MPa con 15% de puzolana y sin aditivo a 3 días, las resistencias a 7 y a 28 días varían ampliamente y en cuanto al cumplimiento con la norma INEN 490 solo la cumplen la dosificación de 25% de puzolana y 0,05% del aditivo C con 28,99MPa y 15% de puzolana y sin aditivo con 27,64MPa obtenidos a 28 días. Las figuras 33 y 34 indican ilustrativamente el % retenido en malla N°325 con el aditivo C y con variación de puzolana y el Blaine con el aditivo C y con variación de puzolana. Las resistencias mecánicas utilizando el aditivo C y dosificando la puzolana son representadas de mejor manera en la figura 35.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 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 Cemento Chimborazo C. A.; por ejemplo el yeso EDESA que contiene 41,92% SO_3 que nos da alrededor de un 90,13% Yeso, para el yeso no hay Norma Técnica que especifique el porcentaje mínimo de pureza o SO_3 pero pasado el 90% es de buena calidad, la caliza de Cuiquiloma-Perfil 0 con 79,75% promedio $CaCO_3$ 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% SiO_2 y un índice de actividad de 81,93% la cual estaría dentro de la norma para Cementos Hidráulicos Compuestos, Requisitos-NTE INEN 490:2011 que permite un % mínimo a los 28 días de 75% y por último tenemos al clínker que según el análisis gravimétrico contiene 51,67% C_3S , 27,79% C_2S , 6,51% C_3A y 10,92% C_4AF . Con las fases del clínker se obtuvo resistencias iniciales bajas debido a la poca cantidad de alita y resistencias finales altas gracias a las cantidades altas de belita 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% de la masa total, el cual dio un mejoramiento en la malla N°325 de 16,7% con resistencias iniciales a un día de 6,09MPa y a 3 días de 9,9MPa indicando un % de mejoramiento en las resistencias de 30% aproximadamente.

En cuanto a los aditivos de RUREDIL, ambos son eficientes, en éste caso las dosificaciones eran diferentes según las fichas técnicas, resultando más eficiente entre ambos es el aditivo RGA K155 con una dosificación de 0,05% de la masa total, dando un mejoramiento en la malla N°325 de 18,67% y en las resistencias

iniciales se tiene 6,65MPa a 1 día y 12MPa a 3 días indicando un % de mejoramiento en las resistencias de 40% aproximadamente. Las resistencias iniciales no llegan a cumplir con la norma NTE INEN 490 debido a la calidad del clínker y la excesiva adición de puzolana (25%Pz, 3% Yeso, 6% Caliza y 66% CLCH).

- La cantidad de puzolana proveniente de Los Pinos - Ambato, máxima que es posible añadir a la molienda junto con el clínker que produce la empresa Cemento Chimborazo, oscila entre 15%-18% utilizando el aditivo RGA K155 con una dosificación de 0,05% de la masa total e incluso se puede utilizar el aditivo RGA S346 con una dosificación de 0,15% del masa total 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 20% de adición de puzolana Los Pinos las resistencias empiezan a disminuir y con 25% no se llega a cumplir con la norma NTE INEN 490:2011 según la investigación.

La adición de puzolana al cemento proporciona mayor fineza y homogeneidad, por consiguiente el retenido en el tamiz se reduce considerablemente, además al momento de realizar la molienda del cemento la puzolana le proporciona mayor facilidad porque una de sus propiedades es la facilidad de molienda en estado seco.

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

Es importante indicar que, si en el clínker las adiciones no pasan del 5% de piedra caliza, yeso y puzolana se llama Cemento Portland (TIPO I), por otro lado se llama Cemento Portland Pozolánico Modificado (TIPO IPM) cuando la adición de puzolana es menor al 15% en masa del Cemento Portland Pozolánico Modificado y se denomina Cemento Portland Pozolánico IP cuando el constituyente puzolana está entre 15% - 40% en masa del Cemento Portland Pozolánico. Con esto queda

claro que aún el cemento producido se puede llamar Cemento Portland Puzolánico IP.

- Al analizar los costos/beneficios para la empresa Cemento Chimborazo C. A. de los aditivos, utilizando la capacidad de producción de 30TM/H del molino ALLIS ya que éste molino cuenta con un sistema descarga para los aditivos y el clínker Chimborazo que entra directamente en su molienda; se tiene resultados satisfactorios con 3 de los 4 aditivos investigados, donde: el aditivo RGA K155 de RUREDIL S.p.A. se proyecta ganancias de 446517\$ anual, el aditivo SIKAGRIND 109-EC de Sika Ecuatoriana S.A. proyecta ganancias de 404352\$ anual, el aditivo RGA S346 produce utilidades de 270558\$ anuales y finalmente el aditivo SIKAGRIND 860 con pérdidas de -9692\$ anual.
- Como conclusión el aditivo más eficiente para la molienda del clínker 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 0,05% de la masa total.

4.2 Recomendaciones

- Es importante que la empresa mejore en un futuro: la adquisición de materias primas de calidad y el proceso adecuado de dosificación en el proceso de molienda.
- Siendo la clinkerización y el enfriamiento etapas muy importantes en el proceso de producir clínker, se debe prestar un control adecuado tanto como en la parte operacional y en el control de las variables de calidad controladas por el laboratorio.
- Si la empresa desea implementar en el proceso de molienda final a escala industrial uno de los aditivos investigados se recomienda utilizar el aditivo RGA K155 proveniente de la empresa RUREDIL S.p.A. con un dosis de 0,05% de la masa total.

- Como los ensayos fueron realizados a escala de laboratorio con un molino de bolas sin separadores ni compartimientos, se recomienda realizar nuevas dosificaciones, únicamente se pueden realizar dos dosificaciones porque se puede esperar cambios en su comportamiento de eficiencia, ya que en referencia al molino ALLIS CHALMERS con capacidad de 30 TM/H solo se utiliza clínker Chimborazo, mientras que el molino CM4 con capacidad de 100 TM/H se muele clínker Chimborazo y clínker importado o de otras empresas con diferentes composiciones químicas.
- Al utilizar los aditivos como coadyuvantes de molienda, es importante tener un sistema adecuado para realizar la dosificación en la entrada del molino, éste sistema debe poseer un tanque reservorio donde el aditivo éste en constante movimiento, homogenizándose continuamente y evitando la sedimentación de las partículas sólidas.
- Se recomienda a la empresa realizar otros alcances basados en ésta investigación; por ejemplo, el estudio utilizando: aditivos sintéticos provenientes de otras empresas y otros aditivos naturales como tierra de diatomeas o artificiales como la escoria.

BIBLIOGRAFÍA

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

LINKOGRAFÍA

- CEMENTO
<http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>
2014-02-27
- CEMENTO CHIMBORAZO
<http://www.cementochimborazo.com/>
2014-02-27
- RESISTENCIA MECÁNICA DEL CEMENTO
<http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/resistencia-mecanica-del-cemento.htm>
2014-02-27

- RUREDIL SpA
<http://www.ruredil.it/>
2014-02-27

- SIKA ECUATORIANA
<http://ecu.sika.com/>
2014-02-27

ANEXO A
NTE INEN 490:2011



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 490:2011
Quinta revisión

CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS.

Primera Edición

BLENDED HYDRAULIC CEMENTS. REQUIREMENTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción, cemento hidráulico compuesto, requisitos.
CO 02.03-403
CDU: 666.544
CIIU: 3692
ICS: 91.100.10

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS.	NTE INEN 490:2011 Quinta revisión 2011-01
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los cementos hidráulicos compuestos.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica a los cementos hidráulicos compuestos, que se emplean en aplicaciones generales y especiales, utilizando cemento portland o clínker de cemento portland, con escoria o puzolana, o ambas; o escoria con cal (ver nota 1).</p> <p>2.2 El texto de esta norma cita notas que proveen material explicativo. Estas notas, excluyendo aquellas en tablas y figuras, no son requisitos de la norma.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 151 y además las siguientes:</p> <p>3.1.1 <i>Cemento compuesto binario.</i> Cemento hidráulico compuesto, que consiste en cemento portland con cemento de escoria o con una puzolana.</p> <p>3.1.2 <i>Cemento compuesto ternario.</i> Cemento hidráulico compuesto, que consiste en cemento portland con una combinación de dos puzolanas diferentes o con cemento de escoria y una puzolana.</p> <p style="text-align: center;">4. CLASIFICACIÓN</p> <p>4.1 Esta norma se aplica para los siguientes tipos de cementos hidráulicos compuestos que generalmente están destinados para los usos indicados.</p> <p>4.1.1 Cemento hidráulico compuesto para uso en hormigón para construcción en general.</p> <p>4.1.1.1 <i>Tipo IS.</i> Cemento portland de escoria de altos hornos.</p> <p>4.1.1.2 <i>Tipo IP.</i> Cemento portland puzolánico.</p> <p>4.1.1.3 <i>Tipo IT.</i> Cemento compuesto ternario.</p> <p>4.2 Informe</p> <p>4.2.1 La práctica a seguir para la nomenclatura de cementos compuestos debe ser agregar el sufijo (X) a la designación de tipo indicado en el numeral 4.1.1, donde (X) es igual al porcentaje utilizado de escoria o puzolana en el producto expresado como un número entero en masa del producto compuesto final, dentro de la variación admisible como se indica en el numeral 10.3.</p> <p>4.2.2 La práctica a seguir para la nomenclatura de cementos compuestos ternarios debe ser agregar los sufijos (AX) y (BY) a la designación del Tipo IT indicado en el numeral 4.1.1.</p> <p><small>NOTA 1: Esta norma prescribe componentes y proporciones, con algunos requisitos de desempeño mientras que la norma de Desempeño NTE INEN 2 380 es una norma para cementos hidráulicos, en la cual solo el criterio de desempeño gobierna los productos y su aceptación.</small></p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Materiales de construcción, cemento hidráulico compuesto, requisitos.</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17-01-3999 - Baquero Moreno E-6-29 y Almagro - Quito-Ecuador - Prohibida la reproducción

Donde:

A es: "S" para cemento de escoria o "P" para puzolana, la que esté presente en mayor cantidad en masa,

X es el porcentaje en masa utilizado del constituyente A,

B es: "S" para cemento de escoria o "P" para puzolana, y

Y es el porcentaje en masa utilizado del constituyente B (ver nota 2).

Ambos valores "X" y "Y" están expresados como un número entero en masa del producto compuesto final, dentro de las variaciones establecidas en el numeral 10.3. Si "X" y "Y" son iguales, expresar primero el contenido de puzolana.

4.2.3 En esta norma se utiliza una nomenclatura simplificada por claridad y sentido práctico, cuando se refiere a los requisitos específicos para cementos compuestos binarios y ternarios que se aplican a un rango de productos o en cementos compuestos ternarios, cuando los requisitos son aplicables solamente a uno de los constituyentes dentro de un rango específico (% en masa) (ver nota 3).

4.3 Propiedades especiales (ver nota 4).

4.3.1 Cuando el comprador requiera cemento con Incorporador de aire, debe especificarlo añadiendo el sufijo (A) a cualquiera de los tipos antes indicados. La opción de Incorporación de aire, es especificada en combinación con cualquiera de las otras propiedades especiales.

4.3.2 Cuando el comprador requiera cemento con moderada resistencia a sulfatos o moderado calor de hidratación o ambos, debe especificarlo añadiendo el sufijo (MS) o (MH) respectivamente, al tipo designado en el numeral 4.1.1.

4.3.3 Cuando el comprador requiera cemento con alta resistencia a los sulfatos, debe especificarlo añadiendo el sufijo (HS) al tipo designado en el numeral 4.1.1, (ver nota 5).

4.3.4 Cuando el comprador requiera cemento con bajo calor de hidratación, debe especificarlo añadiendo el sufijo (LH) al tipo designado en el numeral 4.1.1.

NOTA 2. A continuación se muestran ejemplos de la nomenclatura, de acuerdo a los numerales 4.2.1 y 4.2.2 (todos los porcentajes en masa):

- 1) Cemento compuesto binario, con 80% de cemento portland y 20% de cemento de escoria = IS(20)
- 2) Cemento compuesto binario, con 85% de cemento portland y 15% de puzolana = IP(15)
- 3) Cemento compuesto ternario, con 70% de cemento portland, 20% de cemento de escoria y 10% de puzolana = IT(S20)(P10)
- 4) Cemento compuesto ternario, con 65% de cemento portland, 25% de una puzolana y 10% de otra puzolana = IT(P25)(P10)
- 5) Cemento compuesto ternario, con 60% de cemento portland, 20% de cemento de escoria y 20% de puzolana = IT(P20)(S20)

NOTA 3. A continuación se muestran ejemplos de la nomenclatura simplificada, de acuerdo al numeral 4.2.3:

- 1) Cuando los requisitos son aplicables al rango de productos que se indican en la tabla 1, donde el contenido máximo de SO_3 de 3% se aplica a: cementos compuestos binarios con contenidos de cemento de escoria <70%, se indica como IS(<70); cementos compuestos ternarios con un contenido de puzolana menor que el contenido de cemento de escoria y el contenido de cemento de escoria es inferior a 70%, se indica como IT(P<S<70).
- 2) Cuando los requisitos son aplicables solamente a uno de los constituyentes, dentro de un rango específico de aquel constituyente (% en masa) que, puede encontrarse en el numeral 7.1.2.2, donde se requiere ensayar solamente cuando el contenido de cemento de escoria es <25%. Debido a que el requisito se basa únicamente en el contenido de cemento de escoria, sin ninguna relación con el contenido de puzolana, se emplea la nomenclatura simplificada y el rango de cementos compuestos ternarios se indican como Tipo IT(S<25).

NOTA 4. Una masa dada de cemento compuesto tiene un volumen absoluto mayor que la misma masa de cemento portland. Esto debe ser tomado en cuenta al comprar cementos y al dosificar mezclas de hormigón.

NOTA 5. Las características especiales atribuibles a la escoria o a la puzolana variarán en base a las cantidades contenidas dentro de los cementos compuestos.

(Continúa)

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Información de la orden de compra. Los pedidos de cemento, los cuales se describen en esta norma deben incluir lo siguiente:

5.1.1 Número de la norma.

5.1.2 Tipo o tipos requeridos.

5.1.3 Si se requiere, indicar los porcentajes admisibles máximo o mínimo, o ambos de escoria o puzolana.

5.1.4 Propiedades especiales opcionales requeridas (ver numeral 4.3 y nota 6).

- a) (MS) moderada resistencia a los sulfatos;
- b) (HS) alta resistencia a los sulfatos;
- c) (MH) moderado calor de hidratación;
- d) (LH) bajo calor de hidratación;
- e) (A) Incorporador de aire;
- f) Adición acelerante;
- g) Adición retardante;
- h) Adición reductora de agua;
- i) Adición reductora de agua y acelerante, y
- j) Adición reductora de agua y retardante,

5.1.5 Certificación, si se desea (ver numeral 10)

6. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

6.1 Materiales y fabricación

6.1.1 Escoria de altos hornos. La escoria de altos hornos debe ser el producto no metálico, consistente esencialmente de silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, como resultante del proceso de fundición de mineral de hierro en altos hornos.

6.1.2 Escoria granulada de altos hornos. La escoria granulada de altos hornos debe ser el material granular vítreo, que se forma cuando la escoria de altos hornos fundida es rápidamente enfriada, por ejemplo, por inmersión en agua.

6.1.3 Cemento de escoria. Ver la definición en la NTE INEN 151.

6.1.4 Cemento portland. Ver la definición en la NTE INEN 151. Para los propósitos de esta norma, el cemento portland que cumple con los requisitos de la NTE INEN 152 o de la NTE INEN 2 380 es adecuado. El cemento portland u otros materiales hidráulicos, o ambos, con alto contenido de cal libre pueden ser utilizados mientras se cumplan los límites del ensayo en autoclave para el cemento compuesto.

6.1.5 Clinker de cemento portland. El clinker de cemento portland debe ser clinker parcialmente fundido compuesto básicamente por silicatos de calcio hidráulicos.

6.1.6 Puzolana. La puzolana debe ser un material silíceo o silico-aluminoso, el cual por sí mismo posee muy poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

6.1.7 Cal hidratada. La cal hidratada utilizada como parte de un cemento compuesto debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C 621, excepto que cuando es molida en conjunto en el proceso de producción no habrá un requisito de finura mínima.

NOTA 6. Es importante verificar la disponibilidad de las varias opciones. Algunas opciones múltiples son mutuamente incompatibles o inalcanzables.

(Continúa)

6.1.8 Adición incorporadora de aire. Cuando se especifica cemento con incorporador de aire, se debe utilizar un aditivo que cumpla los requisitos de la norma ASTM C 226.

6.1.9 Cuando se utilicen adiciones de proceso en la fabricación del cemento debe comprobarse que ellas cumplan los requisitos de la NTE INEN 1 504, en las cantidades usadas o mayores (ver numeral 10.2).

6.1.10 Cuando se utilicen adiciones funcionales por decisión del comprador, debe comprobarse que éstas cumplan los requisitos de la norma ASTM C 688, cuando sean ensayadas con el cemento a ser utilizado en la cantidad a emplearse o mayor (ver numeral 10.2).

6.1.11 Otras adiciones. El cemento comprendido en esta norma no debe contener adiciones excepto las que se han indicado anteriormente; sin embargo, si se añade agua o sulfato de calcio (ver NTE INEN 151) o ambos, deben ser en cantidades tales que no excedan los límites mostrados en la tabla 1 para sulfato, reportado como SO_3 y para pérdida por calcinación.

6.1.12 Cemento compuesto binario. El cemento compuesto binario debe ser un cemento hidráulico que consista en una mezcla íntima y uniforme (ver nota 7), producido por molenda conjunta de clínker de cemento portland con puzolana o con una escoria granulada de altos hornos o con un cemento de escoria o por la mezcla de cemento portland con una puzolana o con un cemento de escoria o con una combinación de molenda y mezcla. Para los componentes deben aplicarse los requisitos de los numerales 6.1.14 y 6.1.16.

6.1.13 Cemento compuesto ternario. El cemento compuesto ternario debe ser un cemento hidráulico que consista en una mezcla íntima y uniforme (ver nota 7), producido por 1) molenda conjunta de clínker de cemento portland con a) dos puzolanas diferentes, b) escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria y una puzolana; o 2) por mezcla de cemento portland con a) dos puzolanas diferentes, b) cemento de escoria y una puzolana o 3) una combinación de molenda conjunta y mezcla de esos componentes. El cemento ternario Tipo IT(P<S) y Tipo IT(P<S<70) debe tener un contenido máximo de puzolana del 40% en masa del cemento compuesto y el contenido total de puzolana y de escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria debe ser menor a 70% en masa del cemento compuesto.

6.1.14 Cemento portland de escoria de altos hornos. El cemento portland de escoria de altos hornos debe ser un cemento hidráulico en el cual el constituyente de cemento de escoria se encuentra hasta el 95% de la masa del cemento compuesto. Está permitido que el cemento compuesto binario o ternario, con un contenido de cemento de escoria igual o mayor al 70% en masa, contenga cal hidratada.

6.1.15 Cemento portland de escoria de altos hornos con aire incorporado. El cemento portland de escoria de altos hornos con aire incorporado debe ser cemento portland de escoria de altos hornos al cual se ha añadido suficiente adición incorporadora de aire de manera que el producto resultante cumpla con los requisitos de contenido de aire en el mortero.

6.1.16 Cemento portland puzolánico. El cemento portland puzolánico debe ser un cemento hidráulico, en el cual el constituyente puzolana se encuentra hasta el 40% en masa del cemento compuesto.

6.1.17 Cemento portland puzolánico con incorporador de aire. El cemento portland puzolánico con incorporador de aire debe ser cemento portland puzolánico al cual se le ha añadido suficiente adición incorporadora de aire de modo que el producto resultante cumpla con los requisitos de contenido de aire en el mortero.

NOTA 7: La obtención de una mezcla íntima y uniforme de dos o más tipos de materiales finos es difícil. En consecuencia, el fabricante debe proporcionar el equipo y los controles adecuados. Los compradores deben asegurarse por sí mismos de la idoneidad de la operación de mezclado.

(Continúa)

7. REQUISITOS

7.1 Requisitos específicos

7.1.1 Composición química

7.1.1.1 El cemento del tipo especificado debe estar conforme con los requisitos químicos aplicables, indicados en la tabla 1.

TABLA 1. Requisitos químicos

TIPO DE CEMENTO ^A	Método de ensayo aplicable	IS (< 70), IT(P<8<70)	IS (≥ 70), IT(8≥70)	IP, IT(P≥8)
Oxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160	—	—	6,0
Sulfato, reportado como (SO ₃), % máximo ^B	INEN 160	3,0	4,0	4,0
Sulfuro, reportado como S ²⁻ , % máximo	INEN 160	2,0	2,0	—
Residuo insoluble, % máximo	INEN 160	1,0	1,0	—
Pérdida por calcinación, % máximo	INEN 160	3,0	4,0	5,0

^A Los requisitos químicos en esta tabla son aplicables a todos los cementos con incorporador de aire, equivalentes.

^B Cuando se haya demostrado con el ensayo de la NTE INEN 1 505 que el SO₃ óptimo excede a un valor 0,5% menor del límite de la especificación, es permisible una cantidad adicional de SO₃ a condición de que, cuando el cemento con el sulfato de calcio adicional sea ensayado por el método de ensayo de la NTE INEN 2 501, el sulfato de calcio en el mortero hidratado a las 24 horas ± 15 minutos, expresado como SO₃, no exceda de 0,50 g/l. Cuando el fabricante suministre cemento bajo esta disposición, él, bajo pedido, debe proporcionar datos de soporte al comprador.

7.1.1.2 Si el comprador ha pedido al fabricante establecer por escrito la composición del cemento compuesto adquirido, la composición del cemento suministrado debe cumplir con lo indicado en el documento dentro de las siguientes tolerancias (ver nota 8).

Tolerancia, ± %

Dióxido de silicio (SiO ₂)	3
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	2
Oxido de calcio (CaO)	3

7.1.2 Propiedades físicas

7.1.2.1 *Cemento compuesto.* El cemento compuesto del tipo especificado debe cumplir con los requisitos físicos aplicables prescritos en la tabla 2.

NOTA 8. Esto significa que si el informe del fabricante sobre la composición dice "SiO₂:32%" el cemento, cuando sea analizado, debe contener entre 29% y 35% de SiO₂.

(Continúa)

TABLA 2. Requisitos físicos

TIPO DE CEMENTO ^A	NORMA APLICABLE	IS (<70), IT(P<S<70), IP, IT(P≥S)	IS (<70) (MS), IT(P<S<70) (MS), IP(MS), IT(P≥S) (MS)	IS (<70) (HS), IT(P<S<70) (MS), IP(HS), IT(P≥S) (HS)	IS (≥70), IT(S≥70)	IP (LH) ^B , IT(P≥S) (LH) ^B
Finura	NTE INEN 196, NTE INEN 957	c	c	c	c	c
Expansión en autoclave, % máximo	NTE INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave, % máximo ^D	NTE INEN 200	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat: ^E	NTE INEN 158					
Fraguado, minutos, no menor a		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no mayor a		7	7	7	7	7
Contenido de aire en el mortero, volumen % máximo ^A	NTE INEN 195	12	12	12	12	12
Resistencia a la compresión, mínimo ^A , MPa	NTE INEN 488					
3 días		13,0	11,0	11,0	–	–
7 días		20,0	18,0	18,0	5,0	11,0
28 días		25,0	25,0	25,0	11,0	21,0
Calor de hidratación máximo: ^F	NTE INEN 199					
7 días, kJ/kg		290	290	290	–	250
(cal/g)		(70)	(70)	(70)	–	(60)
28 días, kJ/kg		330	330	330	–	290
(cal/g)		(80)	(80)	(80)	–	(70)
Requerimiento de agua, % máximo, en peso del cemento,	NTE INEN 488	–	–	–	–	64
Contracción por secado, % máximo.	NTE INEN 2 504	–	–	–	–	0,15
Expansión en mortero, % máximo: ^G	NTE INEN 867					
14 días		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
8 semanas		0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Resistencia a los sulfatos, % máximo: ^H	NTE INEN 2 503					
Expansión a 180 días		(0,10) ^I	0,10	0,05	–	(0,10) ^I
Expansión a 1 año		–	–	0,10	–	–

- ^A Cementos con incorporador de aire, deben tener un contenido de aire en el mortero de 19% ± 3% en volumen y la resistencia a compresión mínima no debe ser menor que 80% de la resistencia del tipo de cemento sin incorporación de aire comparable.
- ^B Aplicable solamente cuando se necesita bajo calor de hidratación o no se requiere altas resistencias a edades tempranas.
- ^C En todos los informes del fabricante requeridos, según se indica en el numeral 10.4, se debe informar la cantidad retenida al tamizar en húmedo en el tamiz de 45 µm (No. 325) y la superficie específica medida con el aparato de permeabilidad al aire, m²/kg.
- ^D Los especímenes a ser sometidos al ensayo de expansión en autoclave se deben mostrar firmes y duros y no deben mostrar signos de distorsión, roturas, fisuras, picaduras o desintegración.
- ^E El tiempo de fraguado se refiere al tiempo inicial de fraguado en la NTE INEN 158. El tiempo de fraguado de cementos que contengan una adición funcional acelerante o retardante solicitada por el usuario no requiere cumplir con los límites de esta tabla, pero debe ser establecido por el fabricante.
- ^F Aplicable solo cuando se especifica moderado (MH) o bajo (LH) calor de hidratación, en cuyo caso los requisitos de resistencia deben ser el 80% de los valores indicados en la tabla.
- ^G El ensayo de expansión en el mortero es un requisito opcional a ser aplicado solo a pedido del comprador y no se requiere a menos que el cemento vaya a ser utilizado con áridos reactivos con los álcalis.
- ^H En los ensayos para un cemento Tipo (HS) el ensayo a un año ya no es necesario cuando el cemento cumple con el límite a los 180 días. Un cemento (HS) que no cumpla el límite a 180 días no debe ser rechazado a menos que no cumpla con el límite a un año.
- ^I Criterio opcional de resistencia a los sulfatos, aplicable solamente cuando se especifica.

(Continúa)

7.1.2.2 Puzolana o escoria. La puzolana o la escoria granulada de altos hornos o el cemento de escoria que va a ser mezclado con el cemento deben ser ensayados en el mismo estado de finura que aquel en el cual va a ser mezclado. La puzolana debe cumplir con los requisitos de finura y del índice de actividad de la tabla 3. El cemento de escoria que va a ser utilizado para cementos portland de escoria de altos hornos Tipo IS(<25) o cementos compuestos ternarios Tipo IT(S<25), debe cumplir con el requisito de índice de actividad de la tabla 3. Tal puzolana o escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria que va a ser molido conjuntamente con el clínker de cemento portland, antes de ensayarse para determinar el cumplimiento de los requisitos de la tabla 3, deben ser molidos en el laboratorio hasta una finura como la que se cree que estará presente en el cemento acabado. Es responsabilidad del fabricante decidir sobre la finura a la cual los ensayos deben realizarse y a pedido de un comprador, proporcionar la información sobre la cual se ha basado su decisión.

7.1.2.3 La puzolana para utilizarse en la fabricación de cemento portland puzolánico, Tipo IP(<15) y IP(<15)-(A) o cementos compuestos ternarios Tipo IT(P<15) y IT(P<15)-(A), debe cumplir con los requisitos de la tabla 3 cuando sea ensayada para determinar la expansión del mortero de puzolana como se describe en el numeral 8.1.13. Si el contenido de álcalis del clínker, a utilizarse para los lotes de producción, cambia en más del 0,2% total como equivalente de Na_2O , calculado como $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$, respecto del clínker con el cual se realizaron los ensayos de aceptación, la puzolana debe ser ensayada nuevamente para demostrar el cumplimiento con los requisitos de la tabla 3.

TABLA 3. Requisitos para puzolana para uso en cementos compuestos y para escoria para uso en cementos portland con escoria de altos hornos Tipo IS(<25) y cementos compuestos ternarios Tipo IT(S<25)

PUZOLANA Y ESCORIA, SEGÚN SEA APLICABLE	NORMA APLICABLE	
Finura: Cantidad retenida en el tamiz de 45 μm (No. 325) mediante el tamizado húmedo, % máximo	INEN 957	20,0
Reactividad alcalina de la puzolana: Para uso en cementos de Tipo IP(<15), IT(P<15) y IP(<15) – (A), IT(P<15) – (A); seis ensayos, expansión de la barra de mortero a 91 días, % máximo.	INEN 867	0,05
Índice de actividad con cemento portland, a 28 días, % mínimo	(Ver anexo A1)	75

7.2 Requisitos complementarios

7.2.1 Almacenamiento: El cemento debe ser almacenado de tal manera que permita un fácil acceso para una apropiada inspección e identificación de cada lote, en una edificación adecuada que proteja de la intemperie, de la humedad y minimice el fraguado de almacenamiento.

8. MÉTODOS DE ENSAYO

8.1 Determinar las propiedades aplicables enumeradas en esta norma de acuerdo con los siguientes métodos de ensayo, en caso de que las NTE INEN, listadas no estén actualizadas, debe registrarse a las normas ASTM correspondientes.

8.1.1 Análisis químico. NTE INEN 160, con las condiciones especiales anotadas allí aplicables al análisis de cementos compuestos.

8.1.2 Finura por tamizado. NTE INEN 957.

8.1.3 Finura por el aparato de permeabilidad al aire. NTE INEN 196.

8.1.4 Expansión en autoclave. NTE INEN 200, excepto que en el caso de cemento portland de escoria de altos hornos IS(\geq 70) o cementos compuestos ternarios IT(S \geq 70), los especímenes de ensayo deben permanecer en la cámara de humedad por un periodo de 48 horas antes de medir su longitud y el cemento puro (pasta de cemento) debe ser mezclado por no menos de 3 minutos, ni más de 3 minutos 30 segundos.

(Continúa)

8.1.5 *Tiempo de fraguado.* NTE INEN 158.

8.1.6 *Contenido de aire del mortero.* NTE INEN 195. Para calcular el contenido de aire, utilizar la gravedad específica verdadera del cemento, si ésta difiere de 3,15 en más de 0,05.

8.1.7 *Resistencia a la compresión.* NTE INEN 488.

8.1.8 *Calor de hidratación.* NTE INEN 199.

8.1.9 *Consistencia normal.* NTE INEN 157, excepto en el caso de cemento portland de escoria de altos hornos IS(≥ 70) o cementos compuestos ternarios IT($S \geq 70$), la pasta debe ser mezclada por no menos de 3 minutos, ni más de 3 minutos 30 segundos.

8.1.10 *Densidad.* NTE INEN 156.

8.1.11 *Requerimiento de agua.* La masa del agua de mezclado añadida en la amasada de seis cubos, en concordancia con la NTE INEN 488, como un porcentaje de los ingredientes cementantes totales.

8.1.12 *Expansión del mortero de cemento compuesto.* NTE INEN 867, utilizando vidrio Pyrex triturado No. 7 740 como árido (ver nota 9) y la granulometría dispuesta en la tabla 4.

TABLA 4. Requisitos de granulometría de áridos para el ensayo de expansión de morteros

TAMAÑO DEL TAMIZ		MASA %
PASA	RETIENE EN	
4,75 - mm (No. 4)	2,36 - mm (No. 8)	10
2,36 - mm (No. 8)	1,18 - mm (No. 16)	25
1,18 - mm (No. 16)	600 - μm (No. 30)	25
600 - μm (No. 30)	300 - μm (No. 50)	25
300 - μm (No. 50)	150 - μm (No. 100)	15

8.1.13 *Expansión del mortero de puzolana para uso en cementos portland puzolánicos Tipos IP(<15) y IP(<15)-(A) o cementos compuestos ternarios Tipos IT(P <15) y IT(P <15)-(A).* Utilizando la puzolana y el clínker o cemento que van a ser utilizados juntos en la producción del cemento compuesto, preparar cementos portland puzolánicos Tipos IP(<15) y IP(<15)-(A) o cementos compuestos ternarios Tipos IT(P <15) y IT(P <15)-(A), conteniendo 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 12,5% y 15% de puzolana en masa. Estas mezclas deben ser ensayadas de acuerdo con el método de ensayo de la NTE INEN 867 utilizando una arena que se juzgue que no es reactiva mediante el ensayo de la barra de mortero de la NTE INEN 867. La expansión de las barras de mortero debe ser medida a los 91 días y las seis mezclas deben cumplir con los requisitos de expansión de la tabla 3.

8.1.14 *Retracción por secado.* NTE INEN 2 504. Preparar tres especímenes utilizando la proporción de materiales secos de 1 parte de cemento por 2,75 partes de arena de Ottawa graduada, según la NTE INEN 488. Utilizar un período de curado de 6 días y un período de almacenamiento al aire de 28 días. Reportar la contracción lineal durante el almacenamiento al aire basado en una medida inicial después de un período de 6 días de curado en agua.

8.1.15 *Índice de actividad con cemento portland.* Ensayo de acuerdo al Anexo A.

8.1.16 *Resistencia a los sulfatos.* NTE INEN 2 503.

8.2 *Requisitos de tiempos para ensayos.* Se deben permitir los siguientes períodos, desde la fecha de muestreo, para la terminación de los ensayos:

NOTA 9: El vidrio Pyrex No. 7 740 está disponible como vidrio de deshecho en terrones en Corning Glass Works, Corning, NY; esta es la única fuente de provisión conocida por el comité ASTM en este momento. Si usted conoce proveedores alternativos, por favor proporcione esta información a las oficinas de ASTM Internacional. Sus comentarios recibirán una cuidadosa consideración en una reunión del comité técnico responsable, a la que usted puede asistir.

(Continúa)

ensayo a 3 días	8 días
ensayo a 7 días	12 días
ensayo a 14 días	19 días
ensayo a 28 días	33 días
ensayo a 8 semanas	61 días

9. INSPECCIÓN

9.1 Inspección

9.1.1 Se deben proporcionar al comprador instalaciones para realizar una inspección y muestreo cuidadosos del cemento terminado. La inspección y el muestreo del cemento deben realizarse en la fábrica o en el sitio de distribución controlado por el fabricante o en cualquier otra ubicación como sea acordado entre el comprador y el vendedor.

9.1.2 El fabricante debe proveer instalaciones adecuadas para permitir al Inspector controlar las masas relativas de los constituyentes utilizados y las operaciones de molienda conjunta o de mezclado en la fábrica, para producir el cemento. Las instalaciones en planta, para molienda conjunta o mezclado y la inspección, deben ser adecuadas para asegurar el cumplimiento con las disposiciones de esta norma.

9.2 Muestreo. Tomar las muestras de los materiales en concordancia con los siguientes métodos:

9.2.1 *Muestreo de cementos compuestos.* NTE INEN 153.

9.2.1.1 Cuando el comprador desee que el cemento sea muestreado y ensayado para verificar el cumplimiento con esta norma, realizar el muestreo y los ensayos de acuerdo a la NTE INEN 153.

9.2.1.2 La NTE INEN 153 no está diseñada para control de calidad en la fabricación y no se requiere para la certificación del fabricante.

9.2.2 *Muestreo de puzolana.* Se debe tomar una muestra de 2 kg, aproximadamente cada 360 Mg (toneladas métricas) de puzolana, según la NTE INEN 1 501.

9.3 Aceptación o rechazo

9.3.1 Como opción del comprador, el cemento puede ser rechazado si no cumple alguno de los requisitos de esta norma aplicables al cemento. Para un requisito opcional, el rechazo debe aplicarse, solo si esta opción ha sido solicitada para el cemento a ser ensayado.

9.3.2 Cuando el comprador lo requiera, el cemento en almacenamiento a granel durante un período mayor de 6 meses debe ser muestreado nuevamente y reensayado y, como opción del comprador, puede ser rechazado si no cumple alguno de los requisitos aplicables de esta norma. El cemento así rechazado debe ser responsabilidad del propietario del producto al momento del muestreo para reensayo.

9.3.3 Cuando el comprador lo requiera, los sacos que tengan más de 2% por debajo de la masa marcada en los mismos pueden ser rechazados; o si la masa media de los sacos en cualquier cargamento, como se demuestra por la determinación de la masa de 50 sacos tomados al azar, es menor que la marcada en los sacos, el cargamento completo, a opción del comprador, puede ser rechazado.

10. CERTIFICACIÓN

10.1 A pedido del comprador, el fabricante debe establecer por escrito el origen, cantidad, y composición de los componentes esenciales utilizados en la fabricación del cemento terminado y la composición del cemento compuesto comprado.

(Continúa)

10.2 A pedido del comprador, el fabricante debe establecer por escrito la naturaleza, cantidad e identidad de cualquier adición de proceso, funcional o incorporadora de aire utilizada; y también, si es requerido, debe suministrar datos de ensayos que demuestren el cumplimiento de tal adición de proceso, con los requisitos de la NTE INEN 1 504, de cualquier adición funcional con los requisitos de la norma ASTM C 688 y de cualquier adición incorporadora de aire con los requisitos de la norma ASTM C 226.

10.3 A pedido del comprador, el fabricante también debe declarar por escrito que la cantidad de puzolana o escoria en el cemento terminado no variará en más de $\pm 5,0\%$ en masa del cemento terminado de lote a lote o dentro de un mismo lote.

10.4 A pedido del comprador en el contrato u orden de compra, el fabricante debe suministrar un certificado que indique que el material fue ensayado durante la producción o transferencia, de acuerdo con esta norma y que cumple con ella. Al momento del despacho debe presentar un informe con los resultados de los ensayos que incluya la cantidad retenida sobre el tamiz de 45 μm (No. 325) y la superficie específica por el método de permeabilidad al aire.

11. ENVASADO Y ETIQUETADO

11.1 Cuando se entrega cemento en sacos, se debe cumplir todas las condiciones establecidas en la NTE INEN 1 902, entre ellas, marcar con claridad en cada saco el nombre del producto, "Cemento Portland de Escoria de Altos Hornos", "Cemento Portland Puzolánico" o "Cemento Compuesto Ternario", según sea el caso, el tipo de cemento, el nombre y la marca del fabricante y el contenido neto del cemento en masa. Cuando el cemento contenga una adición funcional listada en el numeral 5.1.4, literales e al j, el tipo de adición funcional debe ser claramente marcado en cada saco. Información similar debe proporcionarse en los documentos de despacho que acompañen los envíos de cemento envasado o al granel. Todos los sacos deben estar en buena condición al momento de la inspección.

(Continúa)

ANEXO A
(Información obligatoria)

ÍNDICE DE ACTIVIDAD CON CEMENTO PORTLAND

A.1 Preparación de los especímenes. Moldear, curar y ensayar los especímenes de una mezcla de control y de una mezcla de ensayo de acuerdo con la NTE INEN 488. El cemento portland empleado en la mezcla de control debe cumplir los requisitos de la NTE INEN 152 y debe ser del tipo y, si hay disponible, de la marca de cemento a ser empleado en la obra. Fabricar amasadas para tres cubos como sigue: (Para amasadas para seis o nueve cubos, duplicar o triplicar, respectivamente, las cantidades de los ingredientes secos).

A.1.1 Mezcla de control:

250 g de cemento portland
687,5 g de arena de Ottawa graduada
X cm³ de agua requerida para obtener un flujo de 100 a 115

A.1.2 Mezcla de ensayo de puzolana:

162,5 g de cemento portland

$$\text{puzolana} = 67,5 \times \frac{\text{gravedad específica de la muestra}}{\text{gravedad específica del cemento portland}} \text{ (gramos)}$$

687,5 g de arena de Ottawa graduada
Y cm³ de agua requerida para obtener un flujo de 100 a 115

A.1.3 Mezcla de ensayo de escoria:

75 g de cemento portland

$$\text{escoria} = 175 \times \frac{\text{gravedad específica de la escoria}}{\text{gravedad específica del cemento portland}} \text{ (gramos)}$$

687,5 g de arena de Ottawa graduada
Z cm³ de agua requerida para obtener un flujo de 100 a 115

A.2 Almacenamiento de los especímenes. Después de moldearlos, colocar los especímenes en los moldes (sobre sus placas de base) en la cámara de curado, a 23,0 °C ± 2,0 °C durante 20 a 24 horas. Mientras se encuentren en la cámara de curado, proteger la superficie de los especímenes de goteo de agua. Retirar los moldes de la cámara de curado y extraer los cubos de los moldes. Colocar los cubos en recipientes de metal o vidrio de ajuste perfecto (ver nota A.1), sellar los recipientes herméticamente y almacenarlos a 38,0 °C ± 2,0 °C durante 27 días. Dejar enfriar las muestras hasta 23,0 °C ± 2,0 °C antes de ensayarlas.

A.3 Ensayos de resistencia a la compresión. Determinar la resistencia a la compresión de los tres especímenes de la mezcla de control y de la mezcla de ensayo a una edad de 28 días en concordancia con el método de ensayo de la NTE INEN 488.

NOTA A.1. Utilizar cualquier recipiente metálico que tenga capacidad para tres cubos si puede ser sellado herméticamente. Se han encontrado satisfactorios recipientes de lámina metálica con estaño liviano, con dimensiones interiores de 52 mm por 52 mm por 160 mm. Se han encontrado satisfactorias botellas Mason de boca ancha de 1 litro de capacidad a condición de que se tomen precauciones para prevenir su rotura. (Advertencia: Las mezclas de cemento hidráulico frescas son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y tejidos en exposiciones prolongadas).

(Continúa)

A.4 Cálculos. Calcular el Índice de actividad con cemento portland como sigue:

$$\text{Índice de actividad con cemento portland} = (A/B) \times 100 \quad (\text{A.1})$$

donde:

- A = resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de ensayo, MPa y
- B = resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de control, MPa

A.5 Precisión y desviación

A.5.1 Precisión. La precisión para un solo operador, sobre cementos compuestos, utilizando ceniza volante, es esencialmente la misma que sobre mezclas: ceniza volante/cementos compuestos del reporte de Investigación C 09 – 1 001 (ver nota A.2) y se encontró que tiene un coeficiente de variación de 3,8% (1s%). Esto significa que los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador no deben diferir en más del 10,7% (d2s) del promedio de los dos resultados. Debido a que el ensayo se realiza solamente con propósitos de certificación del fabricante ninguna precisión multilaboratorio sobre la calidad de la materia prima, es aplicable.

A.5.2 Desviación. Ya que no hay material normalizado de referencia, la desviación no puede ser determinada.

NOTA A.2: Los datos de respaldo constan en el informe de investigación RR: C09-1001 que está archivado en la sede de ASTM Internacional y puede ser solicitado.

(Continúa)

APÉNDICE Y

RESUMEN DE CAMBIOS

Y.1 En este apéndice se recogen los cambios efectuados en esta actualización de NTE INEN, con respecto de la cuarta revisión de esta norma.

Y.1.1 Se incluyeron los numerales 3.1.1, 3.1.2, 4.1.1.3, 4.2.2, 4.2.3, 6.1.3, 6.1.12, 6.1.13 y se renumeraron los subsiguientes numerales.

Y.1.2 Se incluyeron las notas 2 y 3 y se renumeraron las subsiguientes notas.

Y.1.3 Se eliminaron las antiguas notas 5 y 10.

Y.1.4 Se incluyeron las notas 7 y A.2.

Y.1.5 Se cambió la ubicación de la sección "Métodos de ensayo", para que esté antes de la sección "Inspección"

Y.1.6 Se actualizaron los numerales 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

Y.1.7 Se actualizaron los literales A.1, A.2 y A.5

Y.1.8 Se actualizaron las notas 1, 4, 5, 8 y 9.

Y.1.9 Se actualizaron las tablas 1, 2 y 3.

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 151	Cemento hidráulico. Definición de términos.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152	Cemento portland. Requisitos.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 153	Cemento hidráulico. Muestreo y ensayos.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 156	Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 157	Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 158	Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 160	Cemento hidráulico. Métodos de ensayo para el análisis químico
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 195	Cemento hidráulico. Determinación del contenido de aire en morteros.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 196	Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de permeabilidad al aire.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 199	Cemento hidráulico. Determinación del calor de hidratación.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 200	Cemento hidráulico. Determinación de la expansión en autoclave.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488	Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 867	Áridos para hormigón. Determinación de la reactividad alcalina potencial de combinaciones árido-cemento (Método de la barra de mortero).
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 957	Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el tamiz de 45 µm (No. 325).
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 501	Hormigón de cemento portland. Ceniza volante o puzolana natural para su uso en el hormigón de cemento portland. Muestreo y ensayos
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 504	Cementos hidráulicos. Aditivos de proceso. Requisitos.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 505	Cemento hidráulico. Determinación del SO ₂ óptimo aproximado, usando la resistencia a la compresión.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 902	Cementos. Rotulado de fundas.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 380	Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 501	Cemento hidráulico. Determinación del sulfato que se puede extraer con agua del mortero de cemento hidráulico hidratado.
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 503	Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud en morteros expuestos a una solución de sulfato
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 504	Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud del mortero y del hormigón endurecidos.
Norma ASTM C 226	Especificaciones para adiciones incorporadoras de aire para uso en la fabricación de cemento hidráulico con incorporación de aire.
Norma ASTM C 688	Especificaciones para las adiciones funcionales para uso en el cemento hidráulico.
Norma ASTM C 821	Especificación para cal para uso con puzolanas.

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 595 – 10. *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2010.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 490 Quinta revisión	TÍTULO: CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS	Código: CO 02.02-403
ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 2009-08-14 Oficialización con el Carácter de OBLIGATORIA por Resolución No. 067-2009 de 2009-10-13 publicado en el Registro Oficial No. 64 de 2009-11-11 Fecha de iniciación del estudio: 2010-07-21	
Fechas de consulta pública: de _____ a _____		
Subcomité Técnico: Cementos Fecha de iniciación: 2010-08-03 Integrantes del Subcomité Técnico:		Fecha de aprobación: 2010-08-20
NOMBRES: Ing. Raúl Camaniero (Presidente) Ing. Jaime Salvador (Vicepresidente) Ing. Hugo Eghez Ing. Carlos Ronquillo Sr. Carlos Aulestia Ing. Patricio Ruiz Ing. Guillermo Realpe Leda Evelyn Gutiérrez Ing. Raúl Ávila Ing. Washington Benavides Ing. Carlos González Ing. Verónica Miranda Ing. Carlos Castillo (Prosecretario Técnico)	INSTITUCIÓN REPRESENTADA: FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN. INECYC HOLCIM ECUADOR S. A. (AGREGADOS) HOLCIM ECUADOR S. A. (CEMENTOS) LAFARGE CEMENTOS S. A. INDUSTRIAS GUAPAN S. A. FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR. FACULTAD DE INGENIERÍA. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR. HORMIGONES HÉRCULES S. A. FACULTAD DE INGENIERÍA. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR. INTACO ECUADOR S. A. CONCRETOS V.M. INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN. INECYC.	
<p>Otros trámites: *⁹ La NTE INEN 490:2009 (Cuarta Revisión) sin ningún cambio en su contenido fue DESREGULARIZADA, pasando de OBLIGATORIA a VOLUNTARIA, según Resolución No. 009-2010 de 2010-03-05, publicado en el Registro Oficial No. 152 del 2010-03-17.</p> <p>Esta NTE INEN 490:2011 (Quinta Revisión), reemplaza a la NTE INEN 490:2009 (Cuarta Revisión) El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2010-11-26</p>		
Oficializada como: Voluntaria Registro Oficial No. 366 de 2011-01-19		Por Resolución No. 141-2010 de 2010-12-23

ANEXO B

MOLINO DE BOLAS PARA ENSAYOS DE LA EMPRESA HORMICRETO-CUENCA (CAPACIDAD 25Kg)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			
MOLINO DE BOLAS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EMPRESA HORMICRETO EN CUENCA	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA CARLOS ALBERTO RIVADENEIRA MOSQUERA	MOLINO DE BOLAS (25 KILOGRAMOS)		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1		

ANEXO C

MOLINO DE BOLAS PARA ENSAYOS DE LA EMPRESA CEMENTO CHIMBORAZO C. A. (CAPACIDAD 1Kg)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH									
MOLINO DE BOLAS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EMPRESA CEMENTO CHIMBORAZO C.A.	<table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> CERTIFICADO</td> <td><input type="checkbox"/> POR ELIMINAR</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> APROBADO</td> <td><input type="checkbox"/> POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR</td> <td><input type="checkbox"/> INFORMACIÓN</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	<input type="checkbox"/> APROBADO	<input type="checkbox"/> POR APROBAR	<input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA CARLOS ALBERTO RIVADENEIRA MOSQUERA	MOLINO DE BOLAS (1 KILOGRAMO)		
		<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR								
		<input type="checkbox"/> APROBADO	<input type="checkbox"/> POR APROBAR								
<input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/> INFORMACIÓN										
LÁMINA	ESCALA	FECHA									
1											

ANEXO D

ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS PARA LA MOLIENDA FINAL DE LOS ENSAYOS



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	MATERIAS PRIMAS		
ALMACENAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA MOLIENDA FINAL DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input checked="" type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA CARLOS ALBERTO RIVADENEIRA MOSQUERA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1		

ANEXO E

FICHA TÉCNICA. SIKAGRIND 109-EC

Construcción

SikaGrind® 109-EC

Aditivo de molienda y mejorador de calidad para la producción de cemento.

Descripción	SikaGrind 109-EC es un aditivo de molienda con acelerador de fraguado, reductor de agua y compuestos mejoradores de resistencia. La acción química de SikaGrind 109-EC disminuye la atracción interpartícula entre los granos de cemento tanto en estado seco como en el agua e incrementa la velocidad de hidratación del cemento.
Usos	SikaGrind 109-EC se utiliza en el proceso de molienda para aumentar la eficiencia y la resistencia del cemento.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">■ Incrementa la resistencia inicial y a largo plazo, obteniéndose cementos de mejor calidad.■ Reduce los costos de producción del cemento a través de la reducción de los costos unitarios de molienda y a través del reemplazo de clinker por adiciones reactivas como puzolana, escoria de alto horno y ceniza volante, o por adiciones de fillers.■ Incrementa la eficiencia de la molienda resultando una mayor productividad, mayor finura del cemento y una reducción de la energía y costo unitario de molienda.■ Incrementa la trabajabilidad (fluidez) de los morteros y hormigones.■ Su efecto antiapelmazante en el producto final facilita el procesado y manipulación posteriores, tales como bombeo, extracción de silos y ensacado.
Datos Básicos	
Aspecto/color	Líquido traslúcido
Presentación	IBC y granel
Condiciones de almacenamiento	SikaGrind 109-EC puede almacenarse durante 12 meses en su envase original cerrado, sin daños, almacenado a temperaturas entre 5 y 35°C. Proteger del congelamiento.
Datos técnicos	Densidad: 1,26 kg/l aprox.
Aplicación	
Dosis	La dosis típica de SikaGrind 109-EC está en el rango de 1 a 2.5 kg por tonelada de cemento producida (0.1% - 0.25% del peso total=clinker+adiciones)
Método de aplicación	SikaGrind 109-EC se incorpora mediante un sistema de dosificación continua pulverizado en el interior del primer compartimiento del molino, o agregado directamente sobre el material de alimentación en un punto situado lo más próximo posible a la entrada del molino.
Nota	Todos los datos técnicos indicados en esta ficha técnica están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias fuera de nuestro control.

ANEXO F
FICHA TÉCNICA. RGA K155

RGA / K155

High-efficiency grinding additive for cement

Description

RGA / K155 is a pure cement high-efficiency grinding additive.

It can be added at low dosage rates, it is chloride free.

RGA / K155 is particularly suitable for portland cement and portland composite cement with limestone. It can also be useful for grinding either pozzolanic cement or cement with slag.

Mechanism

RGA / K155 due to his particular formulation shows a great dry dispersion effect by reducing the interactive forces between the cement articles. This leads to better yield and efficiency of the grinding process.

Advantages

With the same power specific consumption (KWh), RGA / K155 allows a production increase up to 25-30%; as an alternative, it allows electric energy saving to get the same fineness.

The dry dispersing action allows to greatly reduce the pack-set formation, thus keeping the mill balls cleaner and speeding up loading-unloading operations.

Suggested dosage and inlet point:

The suggested dosage is usually checked by proper industrial test in order to maximize the mill output.

The dosage range normally is: 0,2 - 0,6 Kg / t of cement.

Product should be added into the mill through proper device or onto the clinker's conveyor-belt.

Handling precaution:

RGA / K155 is a harmless product, without toxicological risks for handling employees; simply respecting the usual industrial hygienic rules can safeguard their health. For further information, please refer to the relevant safety data sheet.

Packaging

This product is available in bulk via truck, or in 1100 Kg plastic container, or in 220 Kg steel drum.

Storage:

In order to prevent any possible precipitation, product storage at a $>4^{\circ}\text{C}$ temperature is recommended.

In case of freezing, warm up the product and stir it to full homogeneity

ANEXO G
FICHA TÉCNICA. RGA S346

RGA / S346

Early strengths improver and grinding aid for cement

Description

RGA/S346 is a highly effective early strengths improver and grinding aid for cement. It provides both properties thanks to its complexed and catalytic actions exercised on cement and to a dispersing action made on cement particles to improve cement grind ability while reducing their tendency to agglomeration.

RGA/S346 is recommended for composite Portland cements (L,P,M, types) , pozzolanic and slag cements.

Mechanism of action

RGA/S346 improves early strengths thanks to a catalytic action provided by chloride ions contained. On top of this, its formulation, containing saponified alkanolamines, is able to provide a dispersing action in the dry phase on cement particles, thus obtaining an improvement of the grinding process that becomes more effective and economical from the energy consumption point of view.

Advantages

RGA/S346, at equal clinker content and according to clinker formulation is able to improve early strengths up to 25-35 % while grinding process is improved in line with the performances of a pure grinding aid.

During the grinding process, its positive action in the reduction of the tendency of cement particles to agglomerate modifies positively the cement granulometric curve and improves also the separator efficiency. Last but not least it reduces significantly the pack set phenomena thus reducing / eliminating the tendency of cement to pack within silos and accelerating the cement loading and unloading process

Suggested dosage and inlet point:

RGA/S346 recommended dosage is between 1,5 and 3,0 kg/ton of cement. To individuate a more precise dosage level it is important to determine the improvement level of the early strengths required by the user. The dosage is, of course also influenced by the plant milling process and by the type of cement that is to be treated.

We suggest that, after some laboratory trials, the correct dosage is individuated through industrial trials where all the parameters influencing final results are taken into account.

Product should be added into the mill through proper device or onto the clinker conveyor belt.

Handling precautions:

RGA/S346 is a harmless product without toxicological risks for employees handling the product. Simply respecting the standard industrial hygienic rules can safeguard their health.

For further information, please refer to RGA/S346 safety data sheet that is available on request.

Packaging

The product is available in bulk via truck or tank container or in 1100 kg plastic containers on a pallet, or in 220 kg steel drums.

Storage:

It is recommended to store the product at temperature $> 4^{\circ}\text{C}$ in order to prevent any possible precipitation or freezing. In case of freezing warm up the product and stir it to full homogeneity.

Ruredil

