



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería de Producción y Operaciones

**Proyecto de Factibilidad para el uso de Residuos Pétreos de la
Construcción en el Proceso de Molienda de Cemento en la Compañía**

Industrias Guapan S.A

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de

Ingeniero de Producción y Operaciones

Autor:

Patricio Javier Ruiz Avila

Director:

Ing. José Iván Rodrigo Coronel

Cuenca – Ecuador.

2013

Dedicatoria

A mi Dios que ha guiado los pasos en mi vida y me ha permitido compartirla con personas como mis padres, hermanos, tíos, abuelitos y más familiares, que han sido el pilar sobre el cual me he sostenido y crecido con respeto a la integridad física y moral de las personas.

A mi esposa, compañera de mi vida y mi apoyo incondicional.

Patricio Ruiz Avila

Agradecimiento

Mi eterno y sincero agradecimiento en primer lugar a Dios por permitirme alcanzar con éxito esta etapa de mi vida ; a mi apreciado profesor Ingeniero Iván Coronel por su afán y dedicación en enseñarme a ser responsable y profesional en mi vida.

Al Doctor Piercósimo Tripaldi e Ingeniero Edmundo Cárdenas por sus enseñanzas y desinteresado apoyo a la realización de este trabajo. A todos y cada uno de mis Profesores que durante mi vida estudiantil universitaria supieron inculcarme sus enseñanzas.

Al personal de dirección y operativo de Compañía Industrias Guapán, especialmente del Departamento de Control de Calidad por las facilidades y apoyo brindados a la realización de esta presente investigación, Señor Orlando Romero e Ing. Leopoldo Minchala.

Patricio Ruiz Avila

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras.....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
 Introducción.....	 1

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Presentación de la Compañía Industrias Guapan S.A.....	8
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo general.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos.....	11

CAPÍTULO 2: PROCESO DE FABRICACIÓN

2.1 Objetivo.....	12
2.2 Proceso de producción de cemento por vía seca.....	12
2.2.1 Equipos maquinaria.....	14
2.3 Proceso de molienda de cemento.....	23
2.3.1 Esquema.....	24
2.3.2 Materias Primas utilizadas.....	25

2.3.2.1 Características físico-químicas.....	26
2.3.2.1.1 Clinker.....	26
2.3.2.1.2 Yeso.....	26
2.3.2.1.3 Puzolana.....	27
2.3.3 Rendimiento del sistema.....	27
2.3.4 Costos de producción.....	29
2.4 Conclusiones.....	30

CAPÍTULO 3: ESTUDIO FÍSICO Y QUÍMICO DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP

3.1 Objetivos.....	31
3.2 Definición del producto.....	31
3.3 Características de Calidad.....	32
3.4 Pruebas y ensayos.....	34
3.5 Cumplimiento de requisitos y normas INEN.....	39
3.6 Actividad puzolánica.- Determinación físico-química	41
3.7 Desarrollo de resistencias.....	42
3.8 Conclusiones.....	43

CAPÍTULO 4: TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS PÉTREOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD DE AZOGUES PARA USO COMO MATERIALES ALTERNATIVOS EN LA FABRICACIÓN DE CEMENTO

4.1 Objetivos.....	44
4.2 Régimen Municipal en la Ciudad de Azogues.....	44
4.3 Ley de Gestión Ambiental para prevención y control de la Contaminación ambiental.....	46
4.4 Reglamento para prevención y control de la contaminación Por residuos pétreos de la construcción.....	47

4.5 Manejo de los residuos pétreos de la construcción.....	49
4.5.1 Procedimientos de recolección, clasificación y disposición final de los Materiales pétreos residuos de la construcción.....	49
4.5.2 Identificación visual del contenido de materiales.....	51
4.5.3 Área física para disposición final	51
4.5.4 Tratamiento que reciben los residuos pétreos de la Construcción.....	53
4.5.5 Cuantificación de los residuos.....	54
4.5.5.1 Control estadístico.....	54
4.6 Conclusiones.....	58

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LOS RESIDUOS PÉTREOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL LABORATORIO DE COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A

5.1 Objetivos.....	59
5.2 Caracterización de los residuos pétreos de la construcción.....	60
5.2.1 Identificación, selección y clasificación	60
5.2.2 Preparación de la muestras.....	63
5.2.3 Ensayos físicos.....	63
5.2.3.1 Densidad real.....	63
5.2.3.2 Humedad higroscópica.....	64
5.2.3.3 Fineza.....	65
5.2.4 Ensayos de Difractometría por rayos x.....	66
5.2.4.1 Difractometría de rayos x	66
5.2.4.1.1 Objeto y aplicaciones.....	67
5.2.4.2 Fluorescencia de rayos x.....	68
5.2.4.2.1 Objeto y aplicaciones.....	68
5.2.4.3 Determinación de la fase amorfa.....	70
5.2.4.4 Cuantificación y determinación de la actividad puzolánica por fase amorfa.....	70

5.3 Pruebas del laboratorio.....	73
5.3.1 Ensayos físico-mecánicos	73
5.3.2 Norma INEN 490 para cemento portland puzolánico.....	74
5.3.3 Determinación de la actividad puzolánica por el método del cemento.....	74
5.3.4 Dosificaciones con los residuos pétreos de la construcción en base a Un diseño experimental.....	81
5.3.5 Determinación de la resistencia a la compresión en muestras de cemento preparado con estos materiales.....	84
5.3.6 Análisis comparativo de resultados.....	86
5.4 Conclusiones.....	89

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1 Objetivos.....	91
6.2 Cuantificación del uso de los residuos pétreos de la construcción En el proceso final de molienda de cemento.....	91
6.3 Costos por manejo, tratamiento y disposición de residuos.....	94
6.3.1 Área para recepción del material en la planta de Industrias Guapan S.A.....	96
6.3.2 Equipos de carga y transporte.....	97
6.3.3 Mano de obra.....	100
6.4 Incidencia económica en el proceso de molienda de cemento por el uso de estos residuos.....	101
6.5 Análisis comparativo entre el producto con y sin adiciones De materiales alternativos.....	102
6.6 Conclusiones.....	104

CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE RIESGOS E IMPACTOS

7.1 Objetivos.....	105
--------------------	-----

7.2 Riesgo técnico y tecnológico.....	105
7.3 Riesgo económico.....	106
7.4 Impacto ambiental.....	110
7.5 Impacto social.....	114
7.6 Conclusiones.....	115
CONCLUSIONES.....	116
RECOMENDACIONES.....	118
BIBLIOGRAFIA.....	119
ANEXOS	
Anexo 1: Procedimientos e instrucciones del manual de Calidad de Compañía Industrias Guapan S.A.....	121
Anexo 2: Normas INEN para cemento hidráulico.....	145
Anexo 3: Registro fotográfico.....	147
Anexo 4: Diseño experimental y de Optimización.....	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas N° 1: Características de Calidad

Tabla N° 2: Procedimientos internos del Manual de Calidad

Tabla N° 3: Instrucciones internas del Manual de Calidad

Tabla N° 4: Normas INEN para el Cemento Portland Puzolanico

Tabla N° 5: Requisitos físicos

Tabla N° 6: Requisitos Químicos

Tabla N° 7: Estadística de los escombros trasladados en el mes de Mayo y Junio

Tabla N° 8: Composición de los Residuos pétreos de la Construcción

Tabla N° 9: Densidad real de las muestras preparadas

Tabla N° 10: Humedad de las muestras preparadas

Tabla N° 11: Fineza de las muestras preparadas

Tabla N°12: Análisis de muestras de residuos pétreos de la construcción por Fluorescencia de rayos X

Tabla N°13: Cuantificación de la fase amorfa.

Tabla N°14: Reporte de Análisis de puzolana por Difractometría

Tabla N° 15: Peso de materiales para la preparación de morteros

Tabla N°. 16: Resultados de las pruebas de actividad puzolánica por el método del cemento.

Tabla N° 17: Diseño Experimental

Tabla N° 18: Informe de Rotura y cálculo de la resistencia a la compresión de las muestras de Cemento preparadas con los residuos pétreos de la construcción.

Tabla N° 19: Informe mensual de la calidad del producto Mes: Agosto 2012

Tabla N° 20: Resumen de la calidad del producto de los experimentos

Tabla N° 21: Comparación de la actividad por fase amorfa con actividad por método del cemento

Tabla N° 22: Resumen de las dosificaciones en las pruebas de laboratorio

Tabla N° 23: Porcentaje y cantidad de materiales en uso en la molienda de cemento

Tabla N° 24: Detalle del costo hora/maquina

Tabla N° 25: Equipos para carga de materiales

Tabla N° 26: Equipo para transporte de materiales

Tabla N° 27: Costos unitarios de materia prima y dosificaciones a ser utilizadas en el proceso de molienda de cemento en Compañía Industrias Guapan S.A

Tabla N° 28: Información de costos de producción con el incremento en el precio del material residuo pétreo de la construcción

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Organigrama de Compañía Industrias Guapan S.A.

Figura N° 2: Triturador de Martillos

Figura N° 3: Pre homogeneizador

Figura N° 4: Molino de Crudo

Figura N° 5: Silos de Almacenamiento

Figura N° 6: Horno Rotativo

Figura N° 7: Molino de Crudo

Figura N° 8: Esquema del proceso de molienda de cemento

04/01/13

“PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE RESIDUOS PETREOS DE LA CONSTRUCCION EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE CEMENTO EN COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A.”

RESUMEN

La molienda de cemento es una etapa del proceso de fabricación en la que tiene lugar la dosificación y uso de materias primas y producto en proceso, tales como la puzolana, yeso y clinker respectivamente.

El uso de materiales alternativos como los residuos pétreos de la construcción, está sujeto a que la valoración de las características de calidad a través de los métodos analíticos de laboratorio determine la posibilidad o no de la sustitución en el proceso de molienda de cemento.

El presente trabajo de grado analiza el uso de residuos pétreos y los métodos analíticos utilizados para su valoración, que son fluorescencia y difracción de rayos x, así como también las pruebas físicas y mecánicas que se realizan en la preparación de morteros de cemento, tomando como base los procedimientos e instrucciones del Manual de Calidad de la Compañía Industrias Guapán S.A así como las Normas INEN para cemento.

Palabras clave: cemento Portland puzolánico, clinker, molienda de cemento, fluorescencia de rayos x, difracción de rayos x, residuos pétreos de la construcción

Ing Pedro Crespo
Director Escuela IPO

Ing Ivan Coronel
Director del trabajo de grado

Patricio Ruiz A
Estudiante

Andrés

ABSTRACT

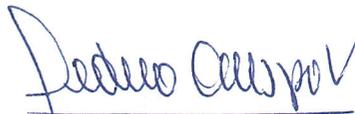
FEASIBILITY PROJECT FOR THE USE OF CONSTRUCTION STONE WASTE IN THE CEMENT MILLING PROCESS OF INDUSTRIAS GUAPAN S.A. COMPANY

Cement milling is a stage within the fabrication process where the dosage of the raw material and of the products in process occurs, materials such as pozzolana, plaster, and clinker.

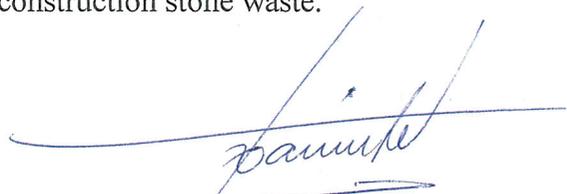
The use of alternative materials such as construction stone waste depends on the assessment of the quality of the characteristics through analytical laboratory methods. This evaluation will determine if the substitution is feasible in the cement milling process.

The present graduation work analyzes the use of stone waste and the analytical methods employed for its assessment, which are fluorescence and X-ray diffraction. In addition, we analyze the physical and mechanic trials employed during the preparation of the cement mortars. The work was based on the procedures and instructions of the Quality Manual of Industrias Guapán S.A. Company and of INEN regulations for cement.

Key Words: Pozolanic Portland Cement, clinker, cement milling, fluorescence and X-ray diffraction, construction stone waste.



Ing. Pedro Crespo
School Director



Ing. Iván Coronel
Thesis Director



Patricio Ruiz
Student



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
DPTO. IDIOMAS
Translated by,
Diana Lee Rodas

Patricio Javier Ruiz Avila
Trabajo de Graduación
Ing. José Iván Rodrigo Coronel
Enero 2013

**PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE RESIDUOS PÉTREOS
DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL PROCESO DE MOLIENDA DE CEMENTO
EN LA COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A.**

INTRODUCCIÓN

En la actualidad en el mundo entero, el uso de los recursos naturales no renovables, así como el consumo energético y el cuidado del medioambiente, se han constituido en un reto para las empresas productoras de cemento. El uso adecuado de las materias primas así como el manejo planificado de las actividades de producción son considerados por los accionistas de las empresas como indicadores de gestión que garantizan la rentabilidad de la organización a la vez de proveer de un producto de la más alta calidad al mercado consumidor en concordancia con las Normas que regulan su fabricación.

Es importante para estas empresas asegurar de que las materias usadas en el proceso de producción de cemento sean de la máxima calidad posible pero a la vez que resulten rentables para la organización. En compañía Industrias Guapan, la reducción constante de materias primas tradicionales y la distancia considerable a las fuentes de abastecimiento hace necesario contar con fuentes alternativas de materia prima, más aún cuando en el país y el mundo, durante los últimos años, los precios de éstas así como su disponibilidad tienen una tendencia marcada hacia un incremento.

Por otra parte, el crecimiento poblacional genera una considerable cantidad de residuos pétreos de las construcciones civiles las cuales son depositadas en escombreras que a su vez van en marcado crecimiento, agotando espacios físicos y alterando el paisaje natural, por lo que se hace necesario contar con alternativas que mitiguen este impacto en las grandes ciudades.

La administración de la Compañía Industrias Guapan considera como parte de las actividades de investigación, utilizar las características que disponen los materiales alternativos tales como residuos pétreos de la construcción como fuente sustitutiva a nivel industrial y procesarlos, en combinación con los materiales tradicionales que permitirá reducir los costos en la fabricación del cemento.

Este proyecto que contempla el uso de residuos pétreos de la construcción, procura reducir el consumo de materias primas no renovables mediante una gestión racional de carácter ecológica y económica ahorrando así, costos en el proceso productivo del cemento, al mismo tiempo se contribuye a solucionar el problema de disposición de residuos pétreos de manera ordenada, segura y óptima.

El estudio tiene lugar en el área de influencia del perímetro urbano de la Ciudad de Azogues, relacionado con la construcción de obras civiles y en el laboratorio y planta de producción de Compañía Industrias Guapan S.A. En las etapas de molienda de cemento, es decir, en la etapa final del proceso de fabricación, es de mucha importancia la investigación de las bondades de los materiales que pudieran ser alternativos a fin de lograr la reducción de los costos de fabricación sin que se alteren las condiciones y características del producto final.

Siendo que los residuos pétreos de la construcción civil contienen en su composición, materiales compatibles con el cemento, se vuelve aún más importante el hecho de realizar una minuciosa tarea de investigación con la finalidad de determinar la factibilidad de uso en la fabricación de cemento, cuestión que no es de desconocimiento general puesto que en las grandes metrópolis, como parte de la

gestión ambiental se llevan adelante procesos de recolección, clasificación y separación de materiales pétreos residuos de las construcciones civiles a las que se les da el tratamiento específico para que sean de utilidad en los mencionados procesos de fabricación.

Esta investigación se ve favorecida por cuanto en el laboratorio de Compañía Industrias Guapan S.A, se cuenta con modernos equipos de fluorescencia y difracción de rayos x, que permiten realizar los análisis de la composición química y mineralógica de estos materiales con la finalidad de valorarlos como sustitutivos para el proceso de fabricación de cemento, complementando el estudio con las pruebas físicas y mecánicas basadas en la aplicación de las Normas INEN para cementos vigentes en el País.

CAPITULO 1

FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

Como respuesta a la imperiosa necesidad de contar con una fuente importante de desarrollo y de trabajo para la zona austral del país, nace “EMPRESA INDUSTRIAS GUAPÁN S.A.” Fue creada mediante Decreto Legislativo el 30 de octubre de 1954, con un capital inicial de S/.25 000 000,00 conformado inicialmente por los siguientes accionistas: Caja del Seguro, Caja de Pensiones, Banco Nacional de Fomento, Centro de Reconvención Económica del Azuay, Cañar y Morona Santiago – CREA Consejo Municipal de Azogues, Concejo Municipal de Cuenca, Concejo Municipal de Biblián.

La junta de promotores aprueba sus estatutos en junio de 1955 como Sociedad Anónima Civil y Mercantil con domicilio en la Ciudad de Azogues, Provincia del Cañar, República del Ecuador, siendo su razón social “EMPRESA INDUSTRIAS GUAPAN S.A.” El 1 de agosto de 1995 es aprobada por la Superintendencia de Compañías la reforma integral de los estatutos constituyentes en Compañía Industrias “GUAPAN S.A. que está constituida de la siguiente manera:

Accionistas:

- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social con el 99.8% de acciones.
- Banco Nacional de Fomento con el 0.2% de acciones.

La Compañía Industrias Guapan S.A. inició con la construcción de su planta de cemento en el año de 1962, y terminó su instalación completa en el año de 1965. El 1 de junio de 1966 es inaugurada oficialmente. La planta tenía una capacidad nominal de 250 toneladas métricas por día (TMPD), y su tecnología utilizada era por vía húmeda.

En 1978 se inició el proceso para la instalación de una nueva planta por vía seca, teniendo como meta la producción de 1 100 toneladas métricas por día, utilizando parte de los equipos de la planta de 240 TMD. En el año de 1991 puso en funcionamiento su planta de producción por vía seca con una capacidad instalada de 1 100 toneladas métricas de cemento por día, siendo en la actualidad su capacidad efectiva de 1 000 toneladas por día de clinker, disponiendo de tecnología de los años 80, dentro de la cual consideraba un sistema de molienda de cemento con una capacidad de 55 ton/hora.

A partir del año de puesta a punto de la nueva planta de 1 100 TMPD, la compañía ha venido sosteniendo cambios significativos de nivel tecnológico al interior del proceso de producción, en base a las necesidades cada vez más crecientes en el mercado de cemento. Es así, que en el año 2002, se cambió la línea de molienda de cemento por una de tecnología reciente, que contempló el cambio total del emplacado interior del molino de cemento y la instalación de un separador de aire de alta eficiencia que ha permitido, entre otras cosas, obtener un mejor grado de fineza en el producto complementando las demás características físico-químicas, permiten que esté cumpliendo con las especificaciones de calidad requeridas en la Norma INEN 490 y satisfaga las expectativas de los clientes.

En la línea de clinkerización se implementó una mejora significativa con la instalación de un moderno quemador que permite el uso de dos combustibles a la vez, pretendiendo lograr la mejora en el tratamiento y consumo de estos.

En el año 2005 se instaló un colector de mangas en las áreas de molienda de crudo-horno con el cual se redujo hasta límites permisibles las emanaciones de partículas de polvo a través de la chimenea principal. En el mes de mayo del año 2007, se instaló un colector de polvo exclusivo para el área de clinkerización, con el cual se ha reducido hasta límites permisibles las emanaciones de partículas de polvo por la chimenea de equilibrio.

En el mes de agosto del año 2008, la Compañía instaló un nuevo enfriador de clinker de tecnología Alemana a través de la Empresa Polysius, mejorando sustancialmente el proceso de enfriamiento y transferencia de calor, permitiendo la utilización del clinker en el menor tiempo posible en el proceso de molienda de cemento.

En el área de ensacado y expendio de cemento, se han instalado dos ensacadoras rotativas con una capacidad de enfundar 2 000 sacos de 50 kg por hora cada una, además del control del peso por boquilla, lo que permite dar cumplimiento al requisito contemplado en la Norma INEN correspondiente en cuanto a la variable peso de sacos, lo cual es verificado convenientemente a través de dos básculas electrónicas ubicadas en la salida de las instalaciones de la compañía.

Con el objeto de dar cumplimiento a las exigencias medioambientales, se han instalado colectores de polvo en todas las áreas de producción, y con mayor énfasis en las áreas de molienda de crudo y clinkerización. El producto que elabora y expende la Compañía es Cemento Portland Puzolánico tipo IP de acuerdo a la norma INEN 490 para uso en construcciones de hormigón en general.

La industria cementera requiere de una considerable cantidad de materias primas tradicionales tales como: calizas, arcillas, yesos y puzolanas para satisfacer sus necesidades de funcionamiento. En la compañía Industrias Guapan, la reducción constante de sus reservas de estas materias primas y la distancia considerable a las fuentes de abastecimiento hace necesario contar con fuentes alternativas, más aún cuando en el país y el mundo, durante los últimos años, los precios de estos recursos

mineros tienen una tendencia marcada hacia el incremento como consecuencia de su escasez.

Por otra parte, el crecimiento poblacional genera una considerable cantidad de residuos pétreos de las construcciones civiles que son depositados en escombreras que a su vez van creciendo, agotando espacios físicos y alterando el paisaje natural, por lo que se hace necesario contar con alternativas que mitiguen este impacto en las grandes ciudades.

La administración de la Compañía Industrias Guapan está incursionando en investigación para establecer las características que disponen los materiales alternativos tales como residuos pétreos de la construcción como fuente sustitutiva que, en combinación, con los materiales tradicionales permitirá reducir los costos en la producción.

El proyecto que contempla el uso de residuos pétreos de la construcción, procura reducir el consumo de materias primas no renovables mediante una gestión racional de carácter ecológica y económica ahorrando costos en el proceso productivo del cemento, al mismo tiempo se contribuye a solucionar el problema de disposición de residuos pétreos de manera ordenada, segura y óptima.

El estudio tiene lugar en el área de influencia del perímetro urbano de la Ciudad de Azogues, relacionado con la construcción de obras civiles y en el laboratorio de planta de producción de Compañía Industrias Guapán S.A

En las etapas de molienda de cemento, es decir, en la etapa final del proceso de fabricación, es de mucha importancia la investigación de las bondades de los materiales que pudieran ser alternativos a fin de lograr la reducción de los costos sin que se alteren las condiciones y características del producto final.

Siendo que los residuos pétreos de la construcción civil contienen en su composición, materiales compatibles con el cemento, se vuelve aún más importante el hecho de

realizar una minuciosa tarea de investigación con la finalidad de determinar la factibilidad de uso en la fabricación de cemento, cuestión que no es de desconocimiento general puesto que en las grandes metrópolis, como parte de la gestión ambiental se llevan adelante procesos de recolección, clasificación y separación de materiales pétreos residuos de las construcciones civiles a las que se les da el tratamiento específico para que sean de utilidad en los procesos de fabricación.

1.2 Presentación de la Compañía Industrias Guapan S.A.

La estrategia de la compañía considera los nuevos retos y oportunidades que deberá enfrentar en el corto y mediano plazo, dentro de su planificación estratégica 2009 - 2014 se planteó la misión, visión y su política de calidad que sintetiza el ser, el querer ser, bajo que lineamientos desarrolla su actividad, cuyo texto dice:

Misión

“Contribuir al desarrollo económico y social de la región austral del Ecuador, mediante la producción y provisión de cemento y productos relacionados, de alta calidad y con responsabilidad social y ambiental”

Visión

“Ser una empresa de alta productividad, con valor económico creciente; de reconocido prestigio por la calidad de sus productos, cumpliendo las expectativas de los clientes y proveedores, manteniendo una cultura de responsabilidad social y ambiental, con talento humano comprometido con la misión empresarial”

Política de Calidad

“Industrias Guapan S.A., produce cemento portland puzolánico de calidad, mediante un modelo de gestión y mejoramiento continuo que tiene como objetivo asegurar la

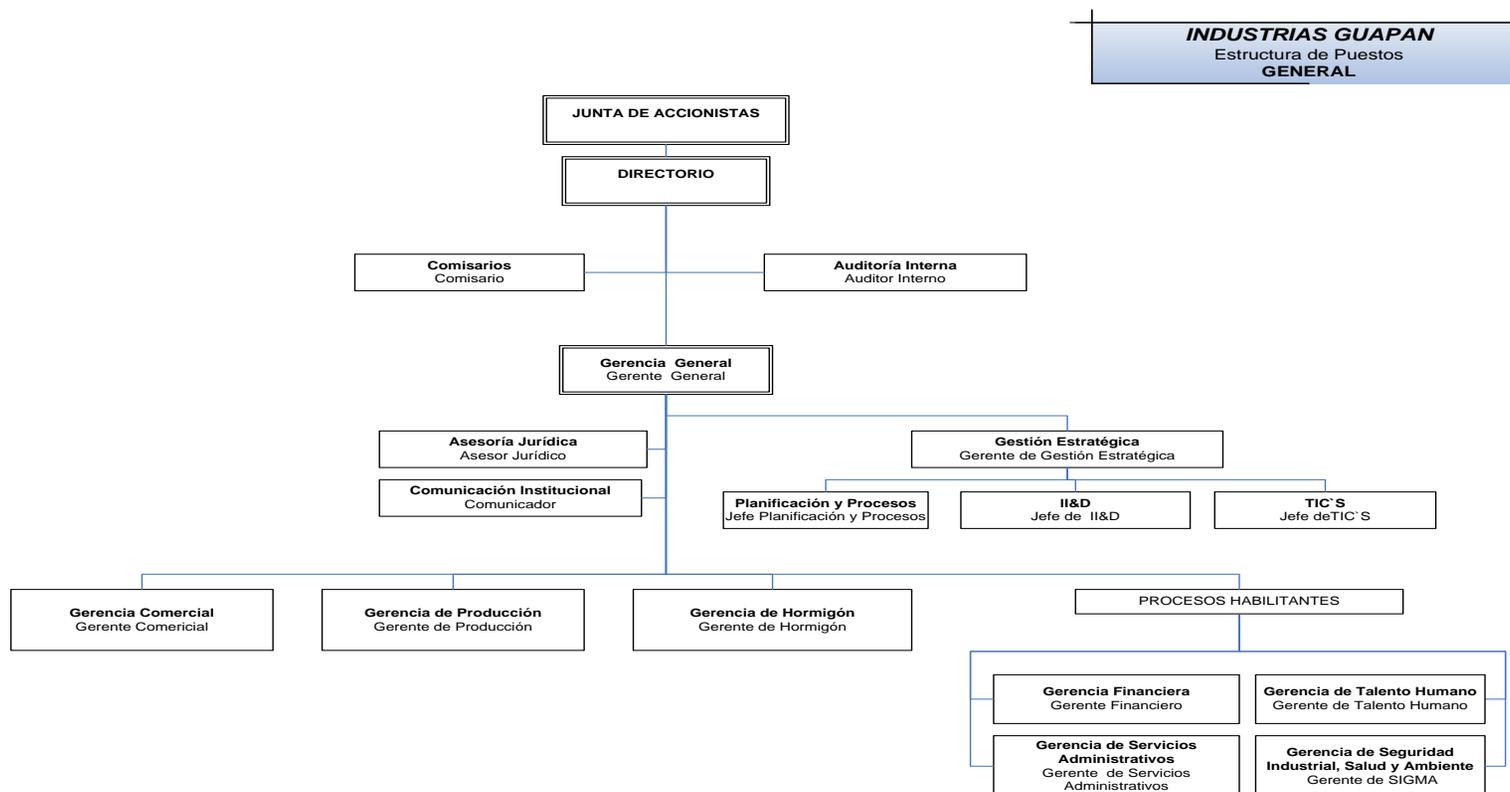
total satisfacción de sus clientes, el cuidado del medio ambiente, el desarrollo de sus recursos, la comunidad y el país”

Estructura y Organización General

Dado los nuevos requerimientos y la necesidad de remozar su estructura orgánica de manera que posibilite una administración moderna y dinámica, en el último año la administración reestructuró su organigrama y puso en vigencia un nuevo reglamento orgánico por procesos que se refleja en el siguiente organigrama:

Figura N° 1

Organigrama de Compañía Industrias Guapan S.A.



Fuente: Gerencia de Talento Humano de Compañía Industrias Guapan S.A

Esta nueva estructura orgánica permitió aplicar un trabajo de consultoría que determinó, sobre la base de los procesos, el número óptimo de empleados y trabajadores en 220.

1.3 Objetivos

Este trabajo de grado está orientado a brindar a la compañía el uso alternativo de materias primas que posibiliten la reducción de costos y que genere externalidades positivas para el ambiente, fortaleciendo la imagen de la compañía en la comunidad.

1.3.1 Objetivo General

Realizar un estudio para determinar la factibilidad del uso de residuos pétreos de la construcción en el proceso de molienda de cemento en Compañía Industrias Guapan S.A.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Conocer la situación actual del proceso de fabricación de cemento en Compañía Industrias Guapan S.A
- Analizar la incidencia de las materias primas motivo de este estudio, en el proceso final de molienda de cemento.
- Conocer los procedimientos de recolección, clasificación y disposición final de los residuos pétreos de la construcción en la Ciudad de Azogues.
- Determinar las características físico-químicas de los residuos pétreos de la construcción generada en la ciudad de Azogues a través de pruebas piloto con dosificaciones que incluyan la materia prima motivo de este estudio.
- Realizar un análisis económico de la incidencia del uso de estos materiales sustitutivos en el proceso de molienda de cemento en Compañía Industrias Guapan S.A.
- Determinar los beneficios que genera el uso de estos materiales en el proceso productivo y en el medioambiente.

CAPITULO 2

PROCESO DE FABRICACIÓN

2.1 Objetivo:

- Conocer el proceso de fabricación de cemento por vía seca, especialmente el área de molienda de acabado, a fin de recabar información sobre el uso de materiales, sus características, rendimiento y costos de producción.

2.2 Proceso de producción de cemento por vía seca

En la Compañía Industrias Guapan, el proceso de fabricación de cemento es por vía seca y corresponde a una secuencia continua de producción dividida en siete etapas:

Trituración

El proceso industrial se inicia con la reducción del tamaño de la materia prima procedente de las canteras, teniendo en la entrada rocas con dimensiones de aproximadamente 1 000 mm de diámetro y en la salida, partículas en un 95% menores a 25 mm.

Pre homogenización

Es el área destinada a la pre homogeneización y almacenamiento del material triturado previo a la dosificación y molienda de crudo. Se lleva a efecto en esta área el

apilamiento en tres pilas de 7 000 toneladas cada una y luego la recuperación a través de un sistema de rastrillo y transporte.

Molienda de Crudo

En esta área se dosifica y prepara la materia prima de acuerdo a los requerimientos físico-químicos para la elaboración del clinker de cemento. Se realiza la molienda hasta una finura tal que el retenido en el tamiz de 200 ASTM (75 micras) sea menor al 15 %, con una humedad del producto inferior al 0,8 %.

Homogenización

Tiene la función de completar la mezcla de la harina cruda para mejorar la homogeneidad del material. Este trabajo se lo realiza mediante la inyección de aire comprimido a impulsos para generar un movimiento interno del polvo. Se dispone de dos silos de homogenización de 1 000 toneladas cada uno y dos silos de almacenamiento de 2 000 toneladas cada uno.

Clinkerización y Enfriamiento

Es el área fundamental del proceso de fabricación de cemento, en la cual, la harina cruda homogenizada reacciona químicamente a temperaturas entre 300 y 1 500 grados centígrados para dar lugar a la formación del clinker de cemento.

Molienda de cemento

La molienda de cemento o acabado es la parte final del proceso de fabricación. En esta área se dosifican y muelen el clinker, yeso y puzolana para producir el cemento de acuerdo a las especificaciones contempladas en las Normas, en este caso la INEN 490.

Empaque y Despacho del Cemento

Para la venta de cemento a los consumidores, se dispone de un área totalmente moderna en la que se encuentran instaladas dos ensacadoras rotativas con capacidad de enfundar 2 000 sacos de 50 kg cada una por hora. Además, de un silo metálico para despacho a granel con una capacidad de 1 000 toneladas métricas.

2.2.1 Equipos y maquinaria

Los equipos y maquinaria utilizados en el proceso de producción de la Compañía Industrias Guapan S.A, están dispuestos en cada una de las áreas de la planta.

Trituración

Triturador de martillos

Un triturador de martillos marca Williams Patent Crusher & Pulv. Co, con una capacidad de 500 toneladas métricas por hora con una humedad de entrada del material de 8%, lo suficiente para abastecer al proceso de producción con un funcionamiento de 8 horas diarias durante 5 días a la semana. El accionamiento de esta máquina es a través un motor eléctrico de 1 500 HP y un consumo específico de 3,5 kilovatios hora por tonelada métrica.

Figura N° 2

Triturador de Martillos



Fuente: Gerencia de producción de Compañía Industrias Guapan S.A

Triturador para yeso

La compañía dispone de un triturador de martillos secundario marca Metso con una capacidad de 20 toneladas por hora para la trituración de yeso, el cual es alimentado a través de una banda transportadora hacia las tolvas de alimentación al molino de cemento. El tamaño del material de entrada es de aproximadamente 400 mm y el de salida 25 mm.

Triturador portátil

Un triturador portátil de marca Metso con una capacidad de 100 toneladas por hora, es utilizado para triturar materiales como caliza, clinker, yeso y puzolana por necesidades puntuales como en el caso de daño de los equipos principales.

Pre homogenización

Pre homogeneizador

La maquinaria que realiza la pre homogenización está dentro de una bodega circular, que consta de un apilador con capacidad de 600 toneladas métricas por hora,

almacenando el material en tres pilas de 7 000 toneladas cada una y un recuperador con capacidad de alimentación de 200 toneladas métricas por hora. La capacidad nominal de almacenamiento es de 40 000 toneladas, pero por efectos de un mayor control en la calidad y disponibilidad de recuperación para la molienda de crudo, se lo utiliza en un 70 %.

El transporte del material pre homogenizado se lo realiza a través de una cadena con paletas a la cual cae mediante el accionamiento de un rascador y deposita el material en una tolva y esta a su vez a una banda por dos vibradores instalados a la salida del recuperador. El consumo específico es de 0,53 kilovatios hora por tonelada métrica

Figura N° 3

Pre homogeneizador



Fuente: Gerencia de producción de Compañía Industrias Guapan S.A

Molienda de Crudo

Molino de bolas con descarga central

El equipo principal de esta área es el molino de bolas; de tipo horizontal, consta de un tubo de acero de 3,96 m de diámetro y una longitud de 7,93 m dividido en dos cámaras de molienda, que con el blindaje adecuado y la carga necesaria tiene una capacidad de

producción de 90 toneladas métricas por hora; es accionado por un motor de 2 500 HP, con un consumo específico de 34,7 kilovatios hora por tonelada métrica, está diseñado para trabajar 6 días por semana y 24 horas al día.

Una función adicional de la molienda de crudo es evaporar el contenido de agua en la materia prima, y se lo realiza en la cámara de secado utilizando para el efecto los gases provenientes de la torre de precalentador del horno rotativo. El molino tiene un diseño de descarga central lo cual permite disponer de dos entradas simultáneas a las dos cámaras de molienda; tanto para los gases calientes para el secado, cuanto para el material de alimentación.

A la primera cámara se alimenta material desde los dosificadores y a la segunda el material procedente de la recirculación de gruesos provocados por el separador de aire. El aire de barrido del molino es manejado por un ventilador de tiro accionado por un motor eléctrico de 800 HP y los gases son filtrados mediante colectores ciclónicos en serie.

Figura N° 4

Molino de Crudo



Fuente: Gerencia de producción de Compañía Industrias Guapan S.A

Homogenización

Silos de Homogenización

El producto de la molienda de crudo es transportado hasta dos silos de homogeneización, que tienen una capacidad de 2 000 Toneladas en total.

Compresor de aletas rotativas

Para la inyección de aire comprimido el sistema dispone de un compresor de aletas rotativas con una capacidad de 3 000 m³/h a una presión de 2kg. /cm² que distribuye el aire adecuadamente por un sistema de cuadrantes de funcionamiento secuencial en tiempos de homogenización que van de 40 minutos a 2 horas, dependiendo del llenado de los silos.

Silos de almacenamiento

Una vez completada la homogeneización y la comprobación de las variables de calidad, el material listo para alimentar al horno es trasladado a los silos de almacenamiento que están por debajo de los primeros, con una capacidad total de 4000 toneladas métricas. La dosificación al horno es controlada desde el panel central en función de determinadas variables del proceso, lo cual se realiza mediante una banda dosificadora que recibe el material desde una caja de despresurización y descarga en un sistema de transporte neumático que impulsa el material hasta el precalentador del horno.

Figura N° 5

Silos de Almacenamiento



Fuente: Gerencia de producción de Compañía Industrias Guapan S.A

Clinkerización y Enfriamiento

Horno rotativo

El equipo principal es el horno rotativo, con una capacidad de producción de 1 100 toneladas métricas por día de clinker de cemento, a una temperatura de descarga de 65 °C sobre la temperatura ambiente. El horno es un tubo de acero de 4,11 m de diámetro y 57,91 m de longitud, revestido interiormente con material refractario, que apoya en tres bases con aros y rodillos que permiten el movimiento y accionado por un motor de 250 HP de velocidad variable. El proceso de clinkerización se describe de la siguiente manera: el material crudo procedente de los silos de almacenamiento es inyectado al ducto de salida de los gases de la segunda etapa del precalentador.

Precalentador

Está constituido por 4 etapas de ciclones instalados en serie, la etapa 4 es la que está ubicada a la boca de alimentación del horno; la etapa 1 consta de dos ciclones en paralelo a cuya salida de gases se encuentra el ventilador de tiro del precalentador que es accionado por un motor eléctrico de velocidad variable con una potencia de 1 250 HP. El tipo de motor con velocidad variable permite disponer de un caudal de aire adecuado para satisfacer los diferentes requerimientos de la alimentación, garantizando una atmósfera estable en el proceso de clinkerización del material en el tubo del horno.

El precalentador actúa como un intercambiador de calor entre los gases resultantes de la combustión del horno y el material pulverizado de alimentación. La otra función que desempeña el precalentador es el de colector estático ya que impide que el material sea arrastrado conjuntamente con los gases. En el funcionamiento a plena capacidad, esto es con una alimentación estable alrededor de 75 toneladas métricas por hora, el material crudo incrementa su temperatura en aproximadamente 800 °C; y la temperatura de los gases desciende hasta llegar a los 300 °C.

El material al incrementar su temperatura mientras desciende por el precalentador, comienza su proceso de transformación química, la temperatura máxima alcanzada en el horno rotativo depende de las características del material y del tipo de clinker de cemento que se está produciendo. Actúan como elementos fundentes para llegar a la fase líquida el aluminio (Al), y el hierro (Fe); disminuyendo el tiempo de reacción del silicio (Si) y calcio (Ca), a la vez que bajan la temperatura necesaria para que se produzca la clinkerización, que para nuestro caso es de alrededor de los 1400 °C.

Enfriador

Parte importante del proceso de clinkerización es el enfriamiento, que se realiza en el enfriador Polysius, que consta de un parrillado metálico que produce la descarga del material enfriado mediante la transferencia de temperatura por la inyección de aire frío

con 4 ventiladores. A la salida del enfriador se encuentra el triturador de clinker que permite descargar un producto con una granulometría menor a 25 mm. El aire necesario para la combustión proviene del intercambio de calor entre el clinker y el aire de los ventiladores y está siempre entre los 800 y 1000 °C; permite que se produzca el proceso de cocción, utilizando como combustible Fuel oil # 6 (Bunker C).

Caldero

Para la dosificación y manipulación del combustible se dispone de un caldero, que calienta el residuo de temperatura ambiente a la temperatura de inflamación (110 °C) mediante la transferencia de calor utilizando aceite térmico. El aire del enfriador que no es utilizado para la combustión en el horno es evacuado mediante un ventilador de compensación. El consumo específico de energía de esta área es de 35 kilovatios hora por tonelada métrica de clinker producido y un consumo calorífico de 840 Kilocalorías por kilogramo de clinker.

Figura N° 6

Horno Rotativo



Fuente: Gerencia de producción de Compañía Industrias Guapan S.A

Molienda de cemento

Molino de bolas con descarga lateral

El equipo principal es el molino de bolas con un diámetro de 3,66 m y una longitud total de 11,28 m, es de tipo horizontal dividido en dos cámaras: la primera de 3,66 m de longitud en la que se realiza la molienda gruesa y la segunda de 7,62 m en la que se realiza la molienda fina. El molino tiene un diseño con descarga periférica y por lo tanto tiene una sola entrada y salida; es accionado por un motor eléctrico de 3 000 HP, con una garantía de producción de 60 toneladas métricas por hora de cemento con una superficie específica de 4 000 cm²/g. El consumo específico es de 40 kilovatios hora por tonelada métrica; estos valores se garantizan considerando una alimentación del 75 % de clinker, 22 % de puzolana y 3 % de yeso con tamaño de partícula de los materiales a la entrada, menor a 25 mm.

Separador de aire

El sistema de molienda es de tipo cerrado con un separador de alta eficiencia de última generación que clasifica el producto de acuerdo a las especificaciones de calidad establecidas en los procedimientos de control.

Figura N° 7

Molino de Crudo



Fuente: Gerencia de producción de Compañía Industrias Guapan S.A

Puente grúa y equipo de carguío

Para el abastecimiento de clinker, puzolana, yeso y otros materiales a las tolvas de dosificación, se dispone de un moderno puente grúa de 5 toneladas métricas de capacidad sostenido sobre rieles que lo transportan a lo largo de los halls de almacenamiento. Además; cargadoras frontales, retroexcavadoras y maquinaria de carga para efectos de movimiento al interior de los halls.

Empaque y Despacho del Cemento

El área está equipada con dos líneas completas de enfundado del cemento con ensacadoras rotativas Haver Boecker con 8 bocas cada una y una capacidad de enfundar 2 000 sacos/hora por máquina. Cada una de estas ensacadoras están alimentadas con sus respectivos aplicadores RADIMATIC, que son servomecanismos autómatas que permiten un flujo continuo y estable en la emisión de sacos. Paralelamente para el despacho a granel se dispone de dos sistemas de alimentación para carros cisterna.

El respectivo control en el despacho relacionado con la variable de peso (50 +- 0,5 kg/saco), se lo realiza a la salida del vehículo de transporte por dos modernas básculas electrónicas de 80 toneladas de capacidad y certificadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización.

2.3 Proceso de molienda de cemento

Una de las últimas etapas de la fabricación del cemento es la molienda de acabado, en la que se dosifican y muelen el clinker conjuntamente con yeso y puzolana. En la actualidad la Compañía Industrias Guapan S.A, fabrica cemento Portland Puzolánico tipo IP en concordancia con la Norma INEN 490.

Esta etapa del proceso productivo es considerada básica puesto que aquí se concretan las propiedades físicas más importantes del cemento, y que están íntimamente ligadas al

valor hidráulico característico del producto tales como: tiempos de fraguado, consistencia normal, superficie específica, falso fraguado, estabilidad de volumen, resistencia mecánica.

El consumo específico medio es de 49 kilovatios hora por tonelada métrica. Un valor del 75% del total de la energía invertida en la producción de cemento, corresponden a la molienda de cemento. El sistema de molienda es de tipo cerrado con un separador de aire de alta eficiencia que es el responsable de la clasificación de partículas provenientes del molino, la cual lo realiza en función del caudal de flujo de material y de aire en el sistema para dar la característica de superficie específica y finura al producto final.

Una molienda muy fina da lugar a cementos que endurecen más rápido y por lo tanto, desarrollan una mayor resistencia a la compresión; esto conlleva desde luego a un mayor gasto de energía por cuanto se incrementa el tiempo de molienda. Por otro lado los cementos con granos más gruesos, se hidratan lentamente con la consiguiente disminución de los valores de resistencia.

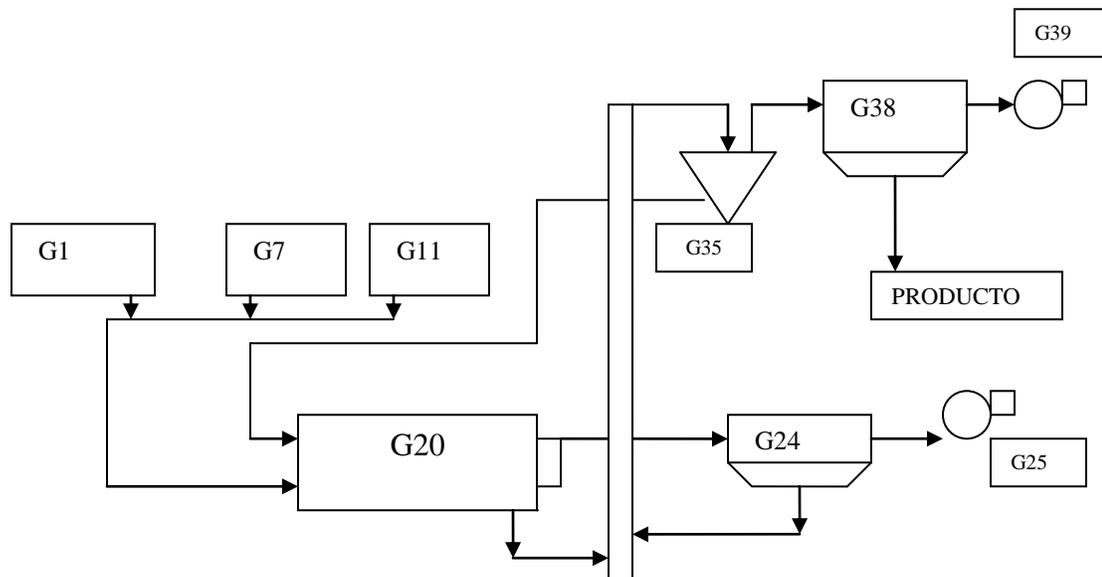
La fabricación de cemento, requiere de variados como rigurosos controles, tanto en el proceso como en el producto en elaboración y terminado, por lo tanto es importante realizar diversas pruebas de carácter físico-químicas en los laboratorios de control de calidad a fin de asegurarse de que éste cumple con los requisitos contemplados en las Normas respectivas de calidad. A pesar de esto, los consumidores como tales realizan igualmente comprobaciones sobre la calidad del producto, lo que obliga a las empresas productoras a ejercer dichos controles con mayor eficiencia y con la ayuda de la tecnología acorde al desarrollo y necesidades de la sociedad consumidora.

2.3.1 Esquema

La distribución física del sistema de molienda de cemento en la planta de producción de la Compañía Industrias Guapan S.A, se encuentra detallada de la siguiente manera:

Grafico N° 8

Esquema del proceso de molienda de cemento



Fuente: Gerencia de producción de Compañía Industrias Guapan S.A

En donde:

G1: tolva de para adición de clinker, capacidad 400 toneladas métricas

G7: tolva para adición de yeso: capacidad: 200 toneladas métricas

G11: tolva para adición de puzolana: capacidad: 200 toneladas métricas

G20: molino de bolas

G24: colector de polvo para aire de barrido

G25: ventilador para colector de polvo G24

G35: separador de aire de alta eficiencia

G38: colector de polvo para producto final

G39: ventilador para colector de polvo G38

2.3.2 Materias Primas utilizadas.

Las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento en Compañía industrias Guapan son las siguientes: Clinker, yeso y puzolana, las cuales y de acuerdo al tipo de

cemento que se va a producir, son analizadas, tratadas, dosificadas y controladas en este sistema.

2.3.2.1 Características físico-químicas

2.3.2.1.1 Clinker

Es un producto de las reacciones físicas y químicas de los componentes calcáreos y arcillosos que están presentes en los crudos que son tratados en los hornos de las fábricas de cemento a temperaturas entre 300 y 1 500 grados centígrados. Estos interactúan en el horno rotatorio para dar lugar al clinker, compuesto básico que aporta los llamados compuestos potenciales al cemento conocidos como: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, ferro aluminato tetracálcico, responsables de las propiedades de resistencia y trabajabilidad del cemento.

El silicato tricálcico, conocido también como alita, es la fase principal en la mayoría de los clinker Portland y de ella dependen en buena parte las características de desarrollo de resistencia mecánica; el silicato tricálcico (C3S) endurece más rápidamente y por tanto tiene mayor influencia en el tiempo de fraguado y en la resistencia inicial de los cementos. Además, se ha podido observar en la práctica que los clinker Portland con mayores contenidos de alita, son más fáciles de moler.

2.3.2.1.2 Yeso

Es un compuesto que se encuentra en la naturaleza en forma de sulfato de calcio dihidratado, que se adiciona al clinker en el molino de cemento en un 3 al 4 % en masa. Le confiere al cemento un efecto retardante en las condiciones de fraguado.

2.3.2.1.3 Pozolana

Constituye 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 mezcla con el cemento reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

Su adición a la molienda de cemento permite además de aportar resistencia al cemento a edades sobre los 14 días, reducir el efecto nocivo que por la presencia de cal libre en el clinker pudiera presentarse. La Norma INEN 490, permite hasta un 15% en masa de material puzolánico para cemento Pórtland puzolánico tipo I PM y hasta un 40 % para cemento Pórtland puzolánico tipo IP

2.3.3 Rendimiento del sistema

En una planta de producción de cemento es fundamental relacionar la producción con el consumo de energía que son los mayores costos, en función de lograr la rentabilidad que satisfaga a los intereses de las empresas, esto; sumado a la entrega de un producto que cumpla con las expectativas de los consumidores en cuanto a su calidad. En la Compañía Industrias Guapan se toman en consideración los siguientes factores para medir el rendimiento del sistema de molienda de cemento:

- Número de horas trabajadas
- Toneladas producidas
- Consumo de energía

Con el uso de los datos que se proporcionan a través de los departamentos de Producción y Mantenimiento eléctrico, se calculan los rendimientos de la siguiente manera:

$$\mathbf{RENDIMIENTO\ 1} = \frac{\mathbf{toneladas\ producidas}}{\mathbf{horas\ trabajadas}}$$

$$\mathbf{RENDIMIENTO\ 2} = \frac{\frac{\mathbf{consumo\ de\ energía}}{\mathbf{horas\ trabajadas}}}{\mathbf{RENDIMIENTO\ 1}}$$

La unidad de tiempo que se maneja en el área de producción para evaluar el rendimiento es mensual y en comparación con el histórico que reposa en los archivos de la Gerencia de Producción.

Datos Informativos:

Área: Molienda de cemento

Presupuesto de producción: para el mes de junio del 2012: 38 638 toneladas

Presupuesto de consumo de energía: 1 512 291,32 kw

Horas presupuestadas: 696

Datos Observados:

Área: Molienda de cemento

Producción mensual: mes de junio del 2012. : 36 751 toneladas

Horas trabajadas: 686

Consumo de energía: 1 557 139,9 kw

“Dato histórico de consumo de energía: 1 598 399,32 kw correspondiente al mes de abril del año 2010, con una producción de 40 838 toneladas de cemento y 696 horas trabajadas”.

Calculo de rendimientos

Datos informativos vs datos observados

$$R1(i) = \frac{38638}{696} = 55,51 \text{ tn/h}$$

$$R1(o) = \frac{36751}{686} = 53,57 \text{ tn/h}$$

$$R2(i) = \frac{1512291,32}{55,51} = 39,14 \text{ kwh/tn}$$

$$R2(o) = \frac{1557139,9}{53,57} = 42,37 \text{ kwh/tn}$$

Datos observados vs Dato histórico

$$R1(o) = \frac{36751}{686} = 53,57 \text{ tn/h}$$

$$R1(h) = \frac{40838}{696} = 58,7 \text{ tn/h}$$

$$R2(o) = \frac{1557139,9}{53,57} = 42,37 \text{ kwh/tn}$$

$$R2(h) = \frac{1598399,32}{58,7} = 39,12 \text{ kwh/tn}$$

2.3.4 Costos de producción

Con el objeto de valorar los costos de producción en el área de molienda de cemento, se toma en consideración los siguientes costos relacionados con la materia prima, carga fabril y consumo de energía.

Costo del material a la entrada al molino de cemento:

- Tonelada de clinker producido : 77,00 USD
- Tonelada de yeso: 39,66 USD
- Tonelada de puzolana: 16,99 USD
- Tonelada de clinker comprado: 102,34 USD

Dosificación actual:

- 75 % de clinker: 25 % de clinker comprado + 75 % de clinker producido

- 22% de puzolana
- 3 % de yeso

Costo por material para una tonelada de cemento:

$$(0,75*0,25*102,34+0,75*0,75*77) + (0,03*39,66)+ (0,22*16,99) = 67,43 \text{ USD}$$

Costo de mano de obra por tonelada producida

- Carga Fabril: 5,11 USD
- Costo de energía : USD 0,07/ kwh
- Consumo de energía= 42,37 kwh/ton * 0,07 USD/kwh = 2,96 USD
- Total por tonelada de cemento producida: 75,5 USD

Fuente: Gerencia de producción de Compañía Industrias Guapan S.A

2.4 Conclusiones:

La observación del funcionamiento del área de molienda de cemento ha permitido conocer los mecanismos a través de los cuales se realiza la dosificación de materias primas, la forma en la que se determina el consumo energético, por lo que se concluye que en esta área se pueden encontrar oportunidades de mejora permanentes que permitirán obtener un mayor rendimiento en base al control, uso y monitoreo de variables de operación y de calidad de materia prima, relacionando estas actividades con el aporte de valor que se pueda dar al producto y consecuentemente a la rentabilidad de la Compañía.

El dato histórico de producción así como el de consumo de energía, sirve al personal de producción para tomar acciones correctivas al interior del proceso, estableciendo y analizando causas que afectan o favorecen el desarrollo de las actividades centrándose en el cumplimiento de los objetivos planteados como organización.

CAPITULO 3

ESTUDIO FÍSICO Y QUÍMICO DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP

3.1 Objetivos

- Observar y conocer cómo se desarrollan las actividades de control tanto en las áreas del proceso de producción así como en el laboratorio de calidad relacionadas con el cumplimiento de los requisitos del producto.
- Conocer las Normas y procedimientos que en la Compañía Industrias Guapan S.A, tienen lugar para controlar y garantizar la calidad de su producto.

3.2 Definición del producto

El Producto: Cemento Pórtland Puzolánico Tipo IP

En el País actualmente se encuentra regulada la fabricación de cemento Portland Puzolánico en los tipos IP e IPM, de acuerdo a los requisitos a cumplir contemplados en la Norma INEN 490. El producto que fabrica y expende Compañía Industrias Guapán S.A, está definido como el tipo IP, con adición de hasta un 25% de puzolana.

Se denomina como Cemento Portland, al “cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker, consistente esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos,

conteniendo usualmente una o más de las formas de sulfato de calcio como adición de molienda”¹

“Cemento Portland Puzolánico El cemento pórland Puzolánico debe ser un cemento hidráulico, en el cual el constituyente puzolana se encuentra hasta el 40% en masa del cemento compuesto”.² El cemento es un conglomerante para la elaboración de hormigones en sus diferentes variedades, es utilizado en un amplio campo de la construcción de obras civiles de grandes dimensiones y sometidas a las más intensas solicitaciones; tales como viviendas, edificios, puentes, torres, autopistas y presas. En la actualidad, la composición química del producto contiene la siguiente dosificación en masa: 75 % de clinker, 22% de puzolana, 3% de yeso.

La adición de yeso tiene como objetivo lograr condiciones de trabajabilidad y fraguado. La adición de puzolana, le confiere al producto final por un lado valores de resistencia a la compresión más elevada que el producto sin adición y por otro lado, disminución en los efectos nocivos que pudiera presentarse como efecto de la presencia de cal libre que resulte de una deficiente cocción en la etapa de clinkerización.

El efecto que ocurre por la presencia de cal libre en el cemento se da generalmente cuando el porcentaje de este componente supera el 3% en masa y se presenta con evidencia de agrietamientos en paredes, pisos, como producto del proceso de expansión. Para determinar si el cemento pudiera tener problemas de expansión en uso, se realiza ensayos en autoclave a presiones y temperaturas entre 2,1 mega pascales y 216 grados centígrados respectivamente.

3.3 Características de calidad

A través de la aplicación de los diferentes procedimientos e instrucciones en las áreas del proceso de producción en la Compañía Industrias Guapán S.A, lo que se pretende es

¹ Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 151: 2010, tercera revisión, Cemento Pórland, Requisitos.

² Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490: 2010, quinta revisión, Cementos hidráulicos Compuestos.

que el producto cumpla con los requisitos de calidad que se especifican en la Norma INEN 490, a fin de brindar al cliente un producto que satisfaga sus expectativas.

En la actualidad el producto se encuentra con las siguientes características de calidad tanto físicas como químicas.

Tabla N° 1

Características de Calidad

CARACTERISTICAS DE CALIDAD		VALORES ACTUALES
FISICAS	UNIDAD	
SUPERFICIE ESPECIFICA	cm ² /g	4171
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL (MINUTOS)	Minuto	192,9
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL (MINUTOS)	Minuto	261,3
EXPANSION EN AUTOCLAVE	%	0,002741
RESISTENCIA A LA COMPRESION	MPa	
EDAD 3 DIAS		16,52
EDAD 7 DIAS		22
EDAD 28 DIAS		35,43
RETENIDO TAMIZ ASTM 325(45 micras)	%	2,96
CONSISTENCIA NORMAL	%	26,6
FALSO FRAGUADO	%	93,7
DENSIDAD APARENTE	g/l	917
PESO DE SACOS (kg)	kg.	50,12
QUIMICAS		
TRIOXIDO DE AZUFRE	%	1,98
OXIDO DE MAGNESIO	%	1,36
PERDIDAS POR CALCINACION	%	1,7

Fuente: Informe de calidad del producto del mes de junio del 2012.

3.4 Pruebas y ensayos

La Compañía Industrias Guapan, se encuentra en un proceso de implementación de la Norma ISO 9 000, y ha desarrollado un sistema de calidad en el cual se encuentran definidos y declarados los procedimientos e instrucciones con las que se desarrollan y controlan las actividades, pruebas y ensayos relacionadas con el control de calidad del producto desde las primeras etapas del proceso hasta el expendio. Estas pruebas y ensayos se encuentran definidas en el manual de calidad de la Compañía y en la Norma INEN 490.

Procedimientos internos del Manual de Calidad

Estos procedimientos son de orden general y han sido desarrollados por el personal del departamento de calidad tomando en consideración los aspectos contemplados en las Normas que regulan la calidad del producto. El contenido de cada uno de estos documentos contempla lo siguiente:

- Propósito
- Alcance
- Responsable
- Procedimiento
- Documentos asociados
- Frecuencia
- Registro y reporte de resultados

Con la finalidad de que esta documentación sea obligatoria y de uso común para el personal que realiza las actividades, se dispone en el formato, la respectiva firma de responsabilidad de quien elabora, revisa y aprueba. En la Tabla No 2 constan los procedimientos del manual de Calidad con los que se desarrollan las actividades de control.

Tabla N° 2

Procedimientos internos del Manual de Calidad

CODIGO	PROCEDIMIENTO
GCP01CK	INSPECCION DEL MATERIA PRIMA EN CANTERA
GCP02CK	INSPECCION DE CALIZA TRITURADA
GCP03CK	EVALUACION DE PILAS EN EL PREHOMOGENIZADOR
GCP04CK	CONTROL DE MATERIAL EN EL MOLINO DE CRUDO
GCP05CK	CONTROL E INSPECCION DE MATERIAL EN LOS SILOS DE FABRICACION
GCP06CK	CONTROL E INSPECCION DE MATERIAL EN ALIMENTACION AL HORNO
GCP07CK	CONTROL E INSPECCION DEL CLINKER
GCP08CK	DETERMINACION DE LA DOSIFICACION ADECUADA EN EL MOLINO
GCP09CK	CONTROL DE CALIDAD SOBRE YESO
GCP10CK	CONTROL DE CALIDAD SOBRE PUZOLANA
GCP11CK	INSPECCION EN EL MOLINO DE CEMENTO
GCP12CK	CONTROL E INSPECCION DEL CEMENTO DE EXPENDIO
GCP20CK	CURVA GRANULOMETRICA DE MOLINOS
GCP21CK	EVALUACION DEL SEPARADOR DE AIRE
GCP22CK	INSPECCION DE SOLUCION ELECTROLITICA DE LOS EQUIPOS
GCP23CK	DEBIT DE DOSIFICACION
GCP24CK	DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE
GPP25CK	AUDITORIA EN LA RECEPCION DE FUNDAS
GCP26CK	AUDITORIA DE PESO DE SACOS
GCP30CK	SISTEMA DE METROLOGIA

Fuente: Manual de calidad de la Compañía Industrias Guapan S.A.

Instrucciones internas del Manual de Calidad

Estas instrucciones igualmente han sido desarrolladas por el personal del departamento de calidad tomando en consideración los aspectos contemplados en las Normas que regulan la calidad del producto y además requisitos internos contemplados en el Manual de Calidad y son específicas en cuanto determinan las pruebas y ensayos de laboratorio. El contenido de cada uno de estos documentos contempla lo siguiente:

- Propósito
- Alcance
- Definiciones
- Equipo necesario
- Procedimiento
- Cálculos
- Registro y reporte de resultados

Con la finalidad de que esta documentación sea obligatoria y de uso común para el personal que realiza las actividades, se dispone en el formato, la respectiva firma de responsabilidad de quien elabora, revisa y aprueba. En la Tabla No 3 constan las instrucciones del manual de Calidad con las que se desarrollan las pruebas y ensayos en el laboratorio.

Tabla N° 3

Instrucciones internas del Manual de Calidad

CODIGO	PROCEDIMIENTO
GCI01CK	TOMA Y PREPARACION DE MUESTRAS
GCI02CK	DETERMINACION DE LA HUMEDAD
GCI03CK	DETERMINACION DE LA FINEZA
GCI04CK	DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE
GCI05CK	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CO ₃ Ca (TITULO)

GCI06CK	DETERMINACION DE LA GRANULOMETRIA
GCI07CK	DETERMINACION DE LA COMPOSICION ELEMENTAL
GCI08CK	DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE CAL LIBRE
GCI09CK	DETERMINACION DE SULFATOS
GCI10CK	DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ALCALIS
GCI11CK	DETERMINACION DE LAS PERDIDAS POR CALCINACION
GCI12CK	ANALISIS DE MUESTRAS POR RAYOS .X.
GCI20CK	DETERMINACION DE LA DENSIDAD REAL
GCI21CK	DETERMINACION DE LA SUPERFICIE ESPECIFICA
GCI22CK	DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA NORMAL M. VICAT
GCI23CK	DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO M. VICAT
GCI24CK	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
GCI25CK	TABLA DE FLUJO CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS
GCI26CK	DETERMINACION: EXPANSIÓN POR METODO AUTOCLAVE
GCI27CK	DETERMINACION DEL ENDURECIMIENTO PREMATURO
GCI28CK	DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE RETENIDO EN EL TAMIZ ASTM 325
GCI30CK	CALIBRACION DE BALANZAS
GCI31CK	CALIBRACION DE PESAS
GCI32CK	CALIBRACION DE COPELAS Y CHAPAS DE NIQUEL
GCI33CK	CALIBRACION DE LITROS
GCI34CK	CALIBRACION DE CUBOS PARA RESISTENCIA A LA COMPRES.
GCI35CK	CONTROL Y CALIBRACION DE TAMICES
GCI36CK	CONTROL Y CALIBRACION DEL PERMIABILIMETRO
GCI37CK	CONTROL Y CALIBRACION DE LA PRENSA
GCI38CK	CALIBRACION DEL VISCOSIMETRO DE ENGLER

Fuente: Manual de calidad de la Compañía industrias Guapan S.A

Normas INEN

Las Normas INEN que se utilizan como documentos del sistema de calidad en la Compañía Industrias Guapan, han sido desarrolladas por el Subcomité técnico de cementos en concordancia con el tipo de producto a fabricar y comercializar y constituyen la base para el desarrollo, mantenimiento y ejecución de las actividades relacionadas con la fabricación y control de calidad del producto. En la Tabla No4 constan las NORMAS INEN que son documentos de prácticas estandarizadas y en base a las cuales se desarrollan las pruebas y ensayos para determinar el cumplimiento de requisitos de calidad del producto

Tabla N° 4

Normas INEN para el Cemento Portland Puzolanico

NORMA	DOCUMENTO	REVISION
151	CEMENTO: DEFINICIONES Y CLASIFICACIONES	1987-02
153	CEMENTO PUZOLANICO	1987-02
154	TAMICES DE ENSAYO	1986-12
155	PREPARACION DE PASTAS Y MORTEROS	1987-02
157	DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA NORMAL	1987-02
158	DETRMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO	1987-02
159	DETRMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO	1987-02
160	ANALISIS QUIMICO PERDIDAS POR CALCINACION	1987-10
191	ADITIVOS PARA INCORPORACION DE AIRE	1977-03
192	ANALISIS QUIMICO DETERMINACION DE SiO ₂	1988-07
193	ANALISIS QUIMICO DETERMINACION DE Fe ₂ O ₃	1988-03
194	ANALISIS QUIMICO DETERMINACION DE RESIDUO	1988-03
196	DETERMINACION DE LA FINURA MET. BLAINE	1987-09
197	DETERMINACION DE LA FINURA MET. WAGNER	1987-07
198	DETERMINACION RESISTENCIA A LA FLEXION	1987-09

199	DETERMINACION DEL CALOR DE HODRATACION	1988-03
200	DETERMINACION DE EXPANSIÓN EN AUTOCLAVE	1987-09
201	DETERMINACION DEL ENDURECIMIENTO PREMAT.	1987-09
202	DETERMINACION DE LA EXPANSIÓN POTENCIAL	1987-11
203	ANALISIS QUIMICO: DETERMINACION DEL SO3	1988-03
488	DETERMINACION RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	1987-09
489	DETERMINACION FINURA POR TAMIZADO SECO	1987-09
490	CEMENTO PUZOLANICO: REQUISITOS	1999-09
493	DETERMINACION DEL COEFICIENTE PUZOLANICO	1980-10
495	DETERMINACION DE ACTIVIDAD PUZOLANICA	1980-11
496	INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA	1980-11
497	PUZOLANAS: ANALISIS QUIMICO	1980-11
498	PUZOLANAS: PERDIDAS POR CALCINACION	1980-11
862	ARIDOS PARA HORMIGÓN: CONTENIDO TOTAL HUM	1982-12
873	ARENA NORMALIZADA	1982-12
875	DETERMINACION DEL ENDURECIMINETO PREM.	1987-09
957	DETERMINACION DE LA FINURA METODO HUM.	1987-09
1504	ADITIVOS DE PROCESO: REQUISITOS	1987-07
1505	DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE SO3	1988-07
1506	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SODIO Y PO	1988-07
1507	CONTENIDO DE SULFATO DE CALCIO EN MORT.	1990-05
1508	CONTRACCION POR SECADO	1990-05
1902	CEMENTOS: ROTULADO DE FUNDAS	1992-03

Fuente: Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN: Cemento, Cal y Yeso

3.5 Cumplimiento de requisitos y normas INEN

Con la aplicación de los diferentes procedimientos e instrucciones que constan en el manual de calidad, se desarrollan las actividades de control en las áreas del proceso de producción con la finalidad de que el producto cumpla los requisitos de calidad

conforme se ha especificado en el numeral 3.3. En la actualidad la Compañía Industrias Guapan S.A dispone del Sello de Calidad INEN para su producto, con vigencia hasta el mes de julio del 2014. Los requisitos obligatorios y mínimos a cumplir por parte del producto están definidos en la Norma INEN 490.

Tabla N° 5

Requisitos físicos

Variable	Requisito	Norma de ensayo aplicable
Expansión en autoclave, % máximo	0,80	NTE INEN 200
Contracción en autoclave, % máximo	0,20	NTE INEN 200
Tiempo de fraguado ensayo de Vicat		
Fraguado, minutos, no menor a	45	NTE INEN 158
Fraguado, horas, no mayor a	7	
Contenido de aire en el mortero, volumen % máximo	12	NTE INEN 195
Resistencia a la compresión , mínimo , Mpa		
3 días	13,0	NTE INEN 488
7 días	20,0	
28 días	25,0	

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490: 2010, quinta revisión, Cementos hidráulicos Compuestos. Requisitos.

Cuadro N° 6

Requisitos Químicos

Variable	Requisito	Norma de ensayo aplicable
Oxido de Magnesio(MgO), % máximo	6	NTE INEN 160
Sulfato, reportado como(SO ₃), % máximo	4	NTE INEN 160
Pérdida por calcinación, % máximo	5	NTE INEN 160

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490: 2010, quinta revisión, Cementos hidráulicos Compuestos. Requisitos.

3.6 Actividad Puzolánica.- Determinación físico-química

En los cementos en los que la molienda considera la adición de puzolana de acuerdo a la Norma que rige su producción, es importante considerar la actividad que tiene ésta en el producto. Generalmente la adición de puzolana tiene como objetivos el de disminuir el efecto nocivo que pueda tener el exceso de cal libre que se produce durante la clinkerización ya que este se produce por un inadecuado complemento de las reacciones en la formación de la composición potencial del clinker.

Su efecto se traduce en la expansión que provoca a través del tiempo en las construcciones en donde se ha utilizado el producto. Por otro lado, la puzolana finamente molida y en mezcla con los componentes del cemento, le transfiere a este un desarrollo mayor de las resistencias a la compresión sobre todo a edades mayores a los 14 días.

La prueba de índice de actividad puzolánica se la realiza de acuerdo al Anexo A contemplado en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490: 2010 quinta revisión. La puzolana que se adiciona al molino de cemento, tiene que tener un índice con un valor mínimo del 75, lo que significa que el mortero que se fabrica con la sustitución de

cemento por puzolana, tiene que tener una resistencia mínima del 75% de la resistencia del mortero patrón fabricado únicamente con clinker y yeso.

3.7 Desarrollo de resistencias.

La resistencia mecánica del cemento endurecido es una de las propiedades de mayor importancia y la que es más solicitada en el cumplimiento de las especificaciones de calidad sobre todo por los constructores, razón por la cual todo el proceso de producción de cemento está direccionado a dicho cumplimiento. La resistencia a la compresión es medida en unidades de Mega pascales (Mpa. = 10,2 kg/cm²), kg/cm², kilonewtons, libras/pulgada², etc. y está regulada en su determinación a través de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 488: 2009, segunda revisión.

Varios son los factores que influyen en el desarrollo de las resistencias a la compresión en el cemento tales como: composición química del clinker producido, finura y fineza de la molienda, cantidad de agua de amasado, ambiente de maduración, etc, por lo cual en el laboratorio de control de calidad las pruebas concernientes deben llevarse a cabo considerando no solamente el cumplimiento de los requisitos de la Norma sino también la ventaja competitiva que va a tener el producto al alcanzar valores que sobrepasen éstos a fin de que el cliente tenga la seguridad cuando lo emplee en las diferentes solicitudes de uso.

Las Normas de calidad vigentes con la consideración de adición de puzolana y en comparación de versiones anteriores, han incrementado los valores de los requisitos, tomando en cuenta que la puzolana como habíamos anotado anteriormente aporta en mayor grado al desarrollo de las resistencia que aquellos cementos en los que la dosificación contempla únicamente clinker y yeso, por lo que es importante que en desarrollo de la operación del sistema ésta se lleve con un carácter técnico en el control de los diferentes parámetros de calidad de materias primas y de operación y que las acciones correctivas sean implementadas con la finalidad de evitar la presencia de defectos que provoquen no conformidad en el producto en razón de que por los

volúmenes de fabricación, resulta un inconveniente difícil de resolver en el caso de reciclar o desechar los lotes de fabricación.

3.8 Conclusiones

El presente capítulo de esta investigación, en base a la observación realizada en las diferentes áreas del proceso productivo y especialmente en el laboratorio de control de calidad, ha permitido primeramente conocer los procedimientos, pruebas y ensayos que se realizan con la finalidad de fabricar un producto que cumpla los requisitos de calidad contemplados en las Normas y luego analizar los datos del control diario que sobre este asunto se manejan al interior de la organización.

Esta observación, ha permitido estar en capacidad de realizar ensayos preliminares con los materiales pétreos de la construcción motivo de esta investigación.

CAPITULO 4

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS PÉTREOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD DE AZOGUES PARA USO COMO MATERIALES ALTERNATIVOS EN LA FABRICACIÓN DE CEMENTO

4.1 Objetivos

El presente capítulo tiene por objetivo conocer las políticas, objetivos y actividades que se desarrollan en la Ciudad de Azogues con relación al tratamiento de los residuos pétreos de la construcción a ser utilizados como materiales alternativos en el proceso de fabricación de cemento en la Compañía Industrias Guapan S.A

4.2 Régimen Municipal en la Ciudad de Azogues

El Régimen Municipal en la Ciudad de Azogues, se mantuvo vigente hasta el 19 de octubre del año 2010, fecha en la que se dio paso a la publicación en el Registro Oficial No. 303 del COOTAD (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización), cuyos ámbitos y objetivos se establecen en los artículos 1 y 2 bajo el Título I “Principios Generales”.

Artículo 1.- Ámbito.

Este Código establece la organización político-administrativa del Estado ecuatoriano en el territorio; el régimen de los diferentes niveles de gobiernos autónomos descentralizados y los regímenes especiales, con el fin de garantizar su autonomía política, administrativa y financiera. Además, desarrolla un modelo de descentralización

obligatoria y progresiva a través del sistema nacional de competencias, la institucionalidad responsable de su administración, las fuentes de financiamiento y la definición de políticas y mecanismos para compensar los desequilibrios en el desarrollo territorial.

Artículo 2.- Objetivos.- Son objetivos del presente Código:

- a) La autonomía política, administrativa y financiera de los gobiernos autónomos descentralizados, en el marco de la unidad del Estado ecuatoriano;
- b) La profundización del proceso de autonomías y descentralización del Estado, con el fin de promover el desarrollo equitativo, solidario y sustentable del territorio, la integración y participación ciudadana, así como el desarrollo social y económico de la población;
- c) El fortalecimiento del rol del Estado mediante la consolidación de cada uno de sus niveles de gobierno, en la administración de sus circunscripciones territoriales, con el fin de impulsar el desarrollo nacional y garantizar el pleno ejercicio de los derechos sin discriminación alguna, así como la prestación adecuada de los servicios públicos;
- d) La organización territorial del Estado ecuatoriano equitativa y solidaria, que compense las situaciones de injusticia y exclusión existentes entre las circunscripciones territoriales;
- e) La afirmación del carácter intercultural y plurinacional del Estado ecuatoriano;
- f) La democratización de la gestión del gobierno central y de los gobiernos autónomos descentralizados, mediante el impulso de la participación ciudadana;
- g) La delimitación del rol y ámbito de acción de cada nivel de gobierno, para evitar la duplicación de funciones y optimizar la administración estatal;
- h) La definición de mecanismos de articulación, coordinación y corresponsabilidad entre los distintos niveles de gobierno para una adecuada planificación y gestión pública;
- i) La distribución de los recursos en los distintos niveles de gobierno, conforme con los criterios establecidos en la Constitución de la República para garantizar su uso eficiente.

j) La consolidación de las capacidades rectora del gobierno central en el ámbito de sus competencias; coordinadora y articuladora de los gobiernos intermedios; y, de gestión de los diferentes niveles de gobierno.

4.3 Ley de Gestión Ambiental para prevención y control de la contaminación ambiental

En fecha 16 de septiembre del 2004, se dio la publicación de la codificación 19 en el Registro Oficial No. 418, de la LEY DE GESTION AMBIENTAL, que considera:

TITULO I

AMBITO Y PRINCIPIOS DE LA GESTION AMBIENTAL

Art. 1.- La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Art. 3.- El proceso de Gestión Ambiental, se orientará según los principios universales del Desarrollo Sustentable, contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de 1992, sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Art. 4.- Los reglamentos, instructivos, regulaciones y ordenanzas que, dentro del ámbito de su competencia, expidan las instituciones del Estado en materia ambiental, deberán observar las siguientes etapas, según corresponda: desarrollo de estudios técnicos

sectoriales, económicos, de relaciones comunitarias, de capacidad institucional y consultas a organismos competentes e información a los sectores ciudadanos.

Art. 5.- Se establece el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental como un mecanismo de coordinación transectorial, interacción y cooperación entre los distintos ámbitos, sistemas y subsistemas de manejo ambiental y de gestión de recursos naturales. En el sistema participará la sociedad civil de conformidad con esta Ley.

Art. 6.- El aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables en función de los intereses nacionales dentro del patrimonio de áreas naturales protegidas del Estado y en ecosistemas frágiles, tendrán lugar por excepción previo un estudio de factibilidad económico y de evaluación de impactos ambientales.

4.4 Reglamentos para prevención y control de contaminación por residuos

Pétreos de la construcción

Estos reglamentos están establecidos en la Ordenanza Nro. 013 del GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE AZOGUES, la cual establece lo siguiente:

Considerando:

QUE: El Art. 264, numeral 4 de la Constitución de la República del Ecuador, establece como competencias de los gobiernos municipales la prestación de servicios públicos de agua potable (...) manejo de desechos sólidos, los ambientes sanos y aquellos que establezca la ley;

QUE: Los Art. 396 y 397, numerales 2 y 3, de la Constitución de la República del Ecuador determina la obligatoriedad del estado de establecer mecanismos efectivos de la prevención y control de la contaminación ambiental regulando la producción (...) uso y disposición final de materiales;

QUE: El Capítulo V de la Ordenanza para la Gestión Integral de los Desechos Sólidos en el Cantón Azogues, hace relación al Servicio Especial de Escombros, Tierra y Chatarra, estableciendo en su articulado, las consideraciones generales sobre este servicio;

QUE: La tendencia creciente de la actividad constructiva en la ciudad de Azogues, con la correspondiente generación de escombros y la inadecuada disposición final, provocan una problemática ambiental urbana, relacionada a la invasión del espacio público, la destrucción de ecosistemas, obstrucción de sumideros y alcantarillas, la degradación de las márgenes de ríos y quebradas del cantón, donde se depositan estos materiales por parte de los generadores;

QUE: Los escombros y tierra de excavación, deben ser manejados de manera técnica y segura para evitar impactos negativos hacia el ambiente y la comunidad, por lo que es responsabilidad municipal establecer una normativa local específica para la disposición final de materiales de escombros y proveer sitios seguros para el depósito final de estos residuos; y,

QUE: En el Capítulo II, Art. 172 y Art. 168 de la Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, COOTAD, se establecen los ingresos propios de la gestión así como la facultad tributaria de los Gobiernos Municipales.

En Ejercicio de las facultades legales que le confieren los artículos 7, 57 literales a) y b), 322 y 323 del COOTAD,

Expide:

“Ordenanza para el servicio especial de disposición final de escombros, tierra de excavación; y la tasa de cobro por este servicio”.

Este se considera al interior de la Ilustre Municipalidad de Azogues como un instrumento a través del cual se hace obligatorio el cumplimiento de las disposiciones a la Ciudadanía en el ámbito de la construcción con el objeto de realizar las actividades en forma que contribuya al cuidado y preservación del medioambiente.

4.5 Manejo de los residuos pétreos de la construcción

El manejo de los residuos pétreos generados como parte de la construcción civil en la Ciudad de Azogues está regulado a través de la **Ordenanza para el servicio especial de disposición final de escombros, tierra de excavación; y la tasa de cobro por este servicio**, descrita anteriormente. Los artículos que hacen mención a los procedimientos, política y gestión en el manejo, tratamiento y disposición final de los escombros, tierra de excavación que se generan en el Cantón Azogues como producto de la construcción civil, así como también la tasa de cobro por este servicio, se describen a continuación.

4.5.1 Procedimientos de recolección, clasificación y disposición final de los Materiales pétreos residuos de la construcción

En el Art.1 de la presente Ordenanza Municipal, dentro de las definiciones considera como escombros a todo residuo sólido sobrante de la actividad de la construcción, de la realización de obras civiles o de otras actividades conexas complementarias o análogas: arenas, gravas, piedra, asfalto, concreto y agregados sueltos de construcción o demolición, ladrillo, cemento, acero, hierro, mallas, madera y similares.

Dentro de esta clasificación, se encuentran los materiales considerados como residuos pétreos de la construcción, motivo de la presente investigación.

Los procedimientos de recolección y clasificación de escombros, están establecidos en el artículo 40 del Título “Procedimiento” y en los artículos 28 y 29 del Título “Responsabilidades de los Generadores de Escombros y Tierra de Excavación” de la Ordenanza Municipal y su contenido es el siguiente:

Art.40.- Los inspectores de higiene, ambiente, control urbano, policías municipales y otras autoridades de control, civiles o policiales, efectuarán visitas periódicas a las obras, para cerciorarse que se cumpla lo establecido en esta Ordenanza.

Art.28.- Cuando se requiera la utilización temporal del espacio público para el almacenamiento de escombros o materiales de construcción; o para la adecuación, transformación o mantenimiento de obras, el dueño, contratista o responsable de la obra, civil, fiscal, pública o privada, debe obtener el respectivo permiso en la Dirección de Control Urbano; además deberá delimitar, señalizar y acordonar el área en forma que se facilite el paso peatonal o el tránsito vehicular. Los escombros y materiales de construcción deberán estar apilados y totalmente cubiertos.

Art.29.- El propietario o contratista de la obra tiene la obligación de velar por el manejo del escombros producido y responder por la limpieza del sitio de excavación o demolición y del espacio público o vías que se vean afectadas en el ejercicio de esta actividad. Todos los días antes del anochecer, los frentes de las casas o solares deberán estar limpios de todo escombros o tierra. De igual manera los procedimientos de transporte y disposición final de estos residuos sólidos, están considerados en los artículos 17, 18 y 19 de la presente Ordenanza Municipal en el Título “Procedimiento Administrativo para la Prestación del Servicio”, y su contenido es el siguiente:

Art.17.- Las Direcciones de Planificación o similares, verificarán que en los presupuestos de la obra pública fiscal, se establezca un rubro para el pago de transporte y disposición final de escombros y tierra de excavación hacia la escombrera o hacia los sitios autorizados por la Dirección de Planificación Municipal.

Art.18.- Control Urbano debe remitir a la Dirección de Higiene Municipal, copia de todos los permisos de construcción otorgados, sean de obra pública o privada, inmediatamente de concedidos, para su respectivo registro.

Art.19.- Las Cooperativas o personas naturales que realicen el servicio de transporte de escombros y tierra de excavación, deben obtener su permiso de movilización en la Dirección de Higiene Municipal. Será el único documento que autorice la circulación con este tipo de desechos, por lo que los señores contratistas deberán utilizar los servicios únicamente de aquellos señores choferes que se encuentren autorizados por el Municipio de Azogues.

4.5.2 Identificación visual del contenido de materiales

De acuerdo a las observaciones que se han podido realizar, se ha determinado que a la escombrera Municipal arriban vehículos que transportan tanto escombros recolectados de los sitios de construcción civil de la Ciudad de Azogues, así como vehículos que transportan materiales de deslavamientos.

En este sitio se observó igualmente que no existe identificado áreas específicas para la separación de estas dos clases de materiales por lo que se realiza una mezcla indiscriminada. Para la recolección de muestras destinadas a los análisis físico-químicos de la presente investigación, en este lugar, se tuvo que separar manualmente los residuos pétreos de la construcción de los materiales de deslavamientos y otros.

4.5.3 Área física para disposición final

La Escombrera Municipal en la que se venían depositando los escombros y materiales de deslavamientos hasta el mes de junio del 2012, se encuentra ubicada a 6 km de la Ciudad de Azogues al margen izquierdo a 200 m de la vía rápida en dirección hacia la Ciudad de Cuenca en el sector de Chavay.

En este sitio se han realizado trabajos de relleno, adecuación y nivelación de los terrenos como parte de los compromisos adquiridos con propietarios de los lotes cedidos en años anteriores, por lo que en consecuencia a aquello, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Azogues, a través del departamento de Gestión

Ambiental- Higiene, inicio el día lunes 4 de junio de 2012 el cierre técnico de la escombrera en Chavay , con el trabajo de maquinaria contratada que ha comenzado a depositar tierra de cultivo en el lugar. Dentro del compromiso adquirido por la Municipalidad con los habitantes del sector, se espera dejar el lugar habilitado para la agricultura con una cobertura de tierra cultivable de 80 cm.

La dependencia municipal ha definido estos días el predio adecuado de 4,3 hectáreas para la nueva escombrera, la cual funciona en Zhorzhan, parroquia de San Miguel de Porotos, en un sitio adecuado que cuenta con los respectivos estudios de impacto ambiental. El acceso a este lugar está ubicado en el km 5 de la panamericana que une a las Provincias de Cañar y Azuay. Igualmente la Municipalidad de Azogues cumplirá su compromiso de la legalización de los terrenos, los documentos en la mayoría de los casos inclusive ya han sido enviados a los beneficiados.

Los criterios establecidos para la determinación de los únicos sitios para recibir escombros está contemplada en los artículos 5 al 10 del Título “Determinación de sitios para escombreras” de la ordenanza para el servicio especial de disposición final de escombros, tierra de excavación; y la tasa de cobro por este servicio y su contenido es el siguiente:

Art.5.- La Dirección de Planificación en coordinación con las Direcciones de Obras Públicas e Higiene Municipal, calificarán los sitios donde pueda emplazarse el sitio de disposición final o escombrera. En el caso de terrenos privados, los propietarios que deseen que sus terrenos sean rellenados, deberán solicitar autorización a la Dirección de Planificación Municipal, que emitirá su autorización, de ser procedente, luego de una respectiva inspección e informes técnicos. Se procurará celeridad y acción inmediata en este tipo de peticiones.

Art.6.- Los únicos sitios para recibir escombros y tierra de excavación son los autorizados por la Dirección de Planificación Municipal. Se puede aplicar la invitación

pública a interesados en ofrecer terrenos para escombreras. Este tema se debe coordinar también con las Juntas Parroquiales.

Art.7.- Las escombreras municipales se localizarán prioritariamente en áreas cuyo paisaje se encuentre degradado, con la finalidad principal de que con la utilización de estos materiales se contribuya a su restauración paisajística.

Art.8.- La determinación de accesos a las escombreras municipales tendrá en cuenta la minimización de impactos ambientales sobre la población civil, a causa de la movilización de los vehículos transportadores.

Art.9.- Cuando se haya determinado el sitio de escombrera, la Dirección de Planificación, de manera directa o por terceros, elaborará el proyecto definitivo de escombrera, que incluirá el detalle de las obras físicas necesarias y el estudio de impacto ambiental, (plan de manejo y/o expediente ambiental y el plan de cierre restauración paisajística).

Art.10.- La escombrera entrará a operar cuando se hayan realizado todas las obras requeridas y cuente con la señalización respectiva, que estarán bajo la responsabilidad de la Dirección de Obras Públicas Municipales.

4.5.4 Tratamiento que reciben los residuos pétreos de la construcción

En función de lo establecido en los procedimientos para recolección, clasificación y disposición final de los residuos pétreos de la construcción, se han establecido los mecanismos para que en el sitio mismo de las edificaciones, se disponga de un lugar adecuado para la separación de estos materiales, evitando que se contaminen con otros que pudieran ser de tipo doméstico y quirúrgico. Esta separación se da especialmente por la consideración de no alterar mayormente el paisaje de las escombreras así como no afectar a la composición del suelo en el que serán depositados.

Es importante por lo tanto que los Ciudadanos dueños de las construcciones tomen conciencia de lo que esto significa y a través de la competencia Municipal se sociabilicen las políticas y objetivos que se pretenden en pro del cuidado y preservación del medio ambiente que nos rodea.

4.5.5 Cuantificación de los residuos

De acuerdo a los procedimientos de recolección, clasificación y transporte de los residuos pétreos de la construcción civil en la Ciudad de Azogues hacia las escombreras Municipales, se mantienen records de la cuantificación de los mismos en los registros de control que reposan en los archivos de la Dependencia correspondiente, los cuales se han establecido en base al seguimiento realizado a través de la modalidad de verificación de los pesos de los vehículos asignados a este trabajo con y sin carga utilizando para ello el préstamo de las básculas de camiones que dispone la Compañía Industrias Guapan S.A en su planta de producción de cemento.

Se realizan igualmente verificaciones periódicas y puntuales en estos mismos equipos con el objeto de asegurarse de que el volumen que se transporta corresponda lo más próximo al peso establecido inicialmente.

4.5.5.1 Control Estadístico

Como un ejemplo ilustrativo del movimiento que ocurre con el manejo y transporte de los residuos pétreos hacia las escombreras tenemos el ocurrido en el período comprendido entre el 22 de mayo al 22 de junio del 2012.

Tabla N° 7

Estadística de los escombros trasladados en el mes de

Mayo y Junio

N° COMP.	FECHA DE EMISION	TIPO DE OBRA	VOLUMEN CALCULADO (m3)	VALOR A PAGAR (USD 0,4/m³)
715	22/05/2012	PRIVADA	3	1,2
716	22/05/2012	PRIVADA	3	1,2
717	22/05/2012	PRIVADA	1	0,4
718	22/05/2012	PRIVADA	1	0,4
719	23/05/2012	PRIVADA	3	1,2
720	23/05/2012	PRIVADA	1	0,4
721	23/05/2012	PRIVADA	3	1,2
722	23/05/2012	PRIVADA	3	1,2
723	24/05/2012	PRIVADA	1	0,4
724	25/05/2012	PRIVADA	1	0,4
725	28/05/2012	PRIVADA	1	0,4
726	29/05/2012	PRIVADA	1	0,4
727	29/05/2012	PRIVADA	3	1,2
728	04/06/2012	PRIVADA	1	0,4
729	06/06/2012	PRIVADA	2	0,8
730	05/06/2012	PRIVADA	3	1,2
731	07/06/2012	PRIVADA	1	0,4
732	08/06/2012	PRIVADA	1	0,4
733	11/06/2012	PRIVADA	1	0,4
734	13/06/2012	PRIVADA	1	0,4
735	13/06/2012	PRIVADA	1	0,4
736	13/06/2012	PRIVADA	1	0,4
737	13/06/2012	PRIVADA	1	0,4

738	14/06/2012	PRIVADA	1	0,4
739	14/06/2012	PRIVADA	1	0,4
740	14/06/2012	PRIVADA	1	0,4
741	14/06/2012	PRIVADA	1	0,4
742	14/06/2012	PRIVADA	1	0,4
743	15/06/2012	PRIVADA	1	0,4
744	15/06/2012	PRIVADA	3	1,2
745	15/06/2012	PRIVADA	1	0,4
746	18/06/2012	PRIVADA	1	0,4
747	18/06/2012	PRIVADA	1	0,4
748	18/06/2012	PUBLICO	8	3,2
749	18/06/2012	PUBLICO	1	0,4
750	18/06/2012	PUBLICO	8	3,2
751	18/06/2012	PUBLICO	8	3,2
752	18/06/2012	PUBLICO	8	3,2
753	18/06/2012	PUBLICO	8	3,2
754	18/06/2012	PUBLICO	8	3,2
755	18/06/2012	PUBLICO	8	3,2
756	19/06/2012	PUBLICO	1	0,4
757	19/06/2012	PUBLICO	1	0,4
758	19/06/2012	PUBLICO	1	0,4
759	20/06/2012	PRIVADA	1	0,4
760	19/06/2012	PRIVADA	1	0,4
761	19/06/2012	PRIVADA	1	0,4
762	19/06/2012	PUBLICO	7	2,8
763	19/06/2012	PUBLICO	7	2,8
764	19/06/2012	PUBLICO	7	2,8
765	19/06/2012	PUBLICO	7	2,8
766	19/06/2012	PUBLICO	7	2,8
767	19/06/2012	PUBLICO	7	2,8

768	19/06/2012	PUBLICO	7	2,8
769	19/06/2012	PUBLICO	7	2,8
770	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
771	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
772	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
773	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
774	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
775	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
776	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
777	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
778	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
779	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
780	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
781	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
782	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
783	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
784	20/06/2012	PUBLICO	7	2,8
785	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
786	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
787	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
788	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
789	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
790	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
791	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
792	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
793	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
794	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
795	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
796	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
797	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2

798	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
799	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
800	22/06/2012	PRIVADA	13	5,2
TOTAL			482 m3	USD 192,8

Fuente: Ilustre Municipalidad de Azogues.- Dirección de Gestión Ambiental

4.6 Conclusiones

De lo que se ha podido observar y recabar a través de la presente investigación se concluye que existen al interior del Cabildo de la Ciudad de Azogues desarrollado y establecido las políticas y procedimientos para realizar la gestión ambiental en la recolección, tratamiento y disposición final de los residuos pétreos que se generan como parte de la construcción civil.

Por otro lado, ha sido importante recibir información sobre la cantidad y manejo de estos residuos, lo que permitirá en función de los resultados de las pruebas correspondientes de laboratorio, establecer mecanismos para el abastecimiento en las proporciones para el uso en el proceso de molienda de cemento en la Compañía Industrias Guapan S.A.

En función de los resultados preliminares de los ensayos por difracción se considera una proporción de uso en un máximo del 10%, lo que se verificará posteriormente a través de las pruebas en fabricación de cemento con estos materiales en laboratorio. Con este porcentaje el uso sería de 200 toneladas por mes, las cuales se transportarán en dos de los vehículos que dispone la Compañía en un promedio de 20 toneladas por unidad en un tiempo aproximado de 1 hora por viaje

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LOS RESIDUOS PÉTREOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL LABORATORIO DE COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A.

5.1 Objetivos

- La actividad relacionada con la construcción y que involucra también a la demolición de edificios, viviendas, etc, genera una gran cantidad de residuos sólidos, que se han denominado como residuos pétreos de la Construcción. De acuerdo a lo que se ha podido observar especialmente en nuestro ámbito, estos residuos presentan bajo riesgo a la salud humana y al ambiente, en relación con los residuos sólidos municipales.
- La problemática fundamental está ligada a la gestión y disposición de los mismos por los volúmenes que se producen, y, por lo tanto, a los costos de transporte y al espacio necesario disponible que ello implica. Sin embargo, se debe considerar que estos no están exentos de materiales peligrosos en su composición y por lo tanto habrá que gestionar adecuadamente a fin de prevenir daños ambientales.
- Los residuos pétreos de la construcción representan una fracción importante de los residuos sólidos que se generan en las grandes urbes. La problemática es conocer cuánto residuo se produce, de qué tipo, y si existe un uso secundario o no. Para dar salida a esta inquietud es que es necesario conocer dos características importantes de los residuos pétreos de la construcción y que son: composición y cantidad.

- Ambas son elementos esenciales pues ejercen un impacto directo sobre la valoración y elección de las diferentes técnicas de tratamiento y disposición. Además, el conocimiento de la composición de los residuos pétreos de la construcción permite identificar los impactos potenciales al ambiente asociados con su disposición final.

5.2 Caracterización de los residuos pétreos de la construcción

5.2.1 Identificación, selección y clasificación

La composición de los residuos pétreos de la construcción refleja en sus componentes mayoritarios el tipo y distribución porcentual de las materias primas que utiliza el sector de la construcción, y hay que tener en cuenta que estas pueden variar de un país a otro en función de la disponibilidad de los mismos y los hábitos constructivos.

En el Gobierno Municipal de la Ciudad de Azogues, se ha abordado el tema de la composición según una política de gestión orientada al el reciclaje de los residuos pétreos de la construcción; es decir, los relaciona a la separación selectiva, la recolección selectiva y también su característica de peligrosidad. En este sentido, los residuos pétreos de la construcción, se considera deben ser agrupados en las categorías siguientes:

- Residuos pétreos de la construcción peligrosos y potencialmente peligrosos
- Residuos pétreos de la construcción no inertes que justifican una separación y recolección selectiva
- Residuos pétreos de la construcción inertes que justifican una separación y recolección selectiva

El listado de componentes típicos se presenta a continuación:

- Restos de ladrillos rotos, losetas cerámicas.
- Hormigón simple (sin acero).
- Teja cerámica

- Vidrios: espejos, ventanas, vidrios decorativos.
- Tierra limpia, polvo, suelo.
- Porcelanas, incluyendo artefactos de baño.
- Metales ferrosos: retazos de hierro, tubería de hierro para electricidad.
- Metales no ferrosos: perfiles de bronce, cables de cobre, tubos galvanizados;
- aluminio, acero.
- Maderas: restos de encofrados, restos de pisos entablonados, restos de vigas; marcos, puertas.
- Plásticos: cañerías, envases, láminas de polietileno, pisos de vinílico.
- Techados: aislantes (poliestireno, lana de vidrio, membranas), tejas cerámicas
- Revestimientos: cerámicos, calcáreos.
- Papel: cartón corrugado, fundas de papel.
- Restos de hormigón, mezclas de cemento y cal.
- Excedentes de materiales usados en construcción: pinturas y envases, adhesivo.
- Aceites residuales, grasas y fluidos: lubricantes, líquido de frenos, aceites varios.
- Residuos puntuales: baterías, tubos fluorescentes.

En la presente investigación se ha podido observar la composición de los residuos pétreos tomados en diferentes puntos en el perímetro urbano de la Ciudad de Azogues, así como en el sitio destinado para la escombrera municipal, y se detallan en el siguiente cuadro:

Tabla N° 8

Composición de los Residuos pétreos de la Construcción

MUESTRA	PUNTO DE TOMA DE LA MUESTRA	IDENTIFICACION	
		Mayor Proporción > 80%	Menor proporción ≤ 20%
1	Residuo de construcción Sector la Concordia(1)	Bloques , Ladrillos , Hormigón , Cemento , piedra, arena	madera, vidrio, plásticos, aluminio
2	Residuo de construcción Sector la Concordia(2)	Bloques , hormigón, cemento, arena ,piedras	Fibras de madera, sogas, vidrio
3	Residuo de construcción Sector Universidad Católica de Azogues	Ladrillo, bloque, estuco, yeso, hormigón, cemento, arena	Plástico, vidrio, papel, pedazos de sogas
4	Residuo de construcción Sector Charasol	Bloques , Ladrillos , Hormigón , Cemento , piedra, arena	plástico, madera, hierro , aluminio
5	Residuo de construcción Sector Escombrera de Chavay	Ladrillo, bloque, estuco, porcelana, teja, hormigón, cemento, arena	tierra de deslavamiento, plástico, vidrio , madera
6	Residuo de construcción Sector Escombrera de Chavay	Ladrillo, bloque, estuco, hormigón, cemento, arena, teja	tierra de deslavamiento, plástico, vidrio , madera
7	Residuo de construcción Demolición de edificio en Guapan(1)	ladrillo, teja, arena, hormigón, cemento	plástico, papel, vidrio, madera, hierro
8	Residuo de construcción Demolición de edificio en Guapan(2)	bloque, hormigón ,cemento, teja, porcelana	plástico, papel, vidrio, madera
9	Residuo de construcción Sector Guapan	porcelana, arena, piedra	bloque, vidrio, madera, hierro
10	Residuo de construcción Parroquia San Francisco	cascajo, hormigón, cemento, arena	Vidrio, polvo

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

5.2.2 Preparación de las muestras

Las muestras de residuos pétreos de la construcción tomadas en los puntos indicados, recogidas y almacenadas en fundas de plástico resistentes, se han trasladado al laboratorio a fin de realizar el siguiente tratamiento:

- Identificación y protección adecuada en doble recipiente a fin de preservar las condiciones de la muestra.
- Separación manual de componentes que pudieran resultar peligrosos como el caso de metálicos y vidrios y que se encuentran en una mínima cantidad, esto con el propósito de seguridad en las pruebas a realizar en laboratorio.
- Almacenamiento en lugar seguro y libre de humedad.

5.2.3 Ensayos físicos

Para la realización de los ensayos físicos preliminares en las muestras se han tomado como base los procedimientos e instrucciones del manual de Calidad del laboratorio.

5.2.3.1 Densidad real:

La determinación de la densidad consiste en establecer la relación entre la masa de sustancia (ejem: cemento, puzolana, etc.) y el volumen de líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le-Chatelier. Para esta determinación, la muestra previamente se secó durante 10 minutos en una plancha térmica a temperatura aproximada de 200 °C y luego a la molienda en un molino vibratorio de anillos de tungsteno hasta una fineza como la que consta en la Tabla No.11. La prueba de densidad se realiza de acuerdo a la instrucción I.CK-7.1-20 que consta en el anexo 1 (procedimientos e instrucciones del manual de calidad del laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A)

Resultados obtenidos:

Tabla N° 9

Densidad real de las muestras preparadas

Muestra	Densidad (g/cc)
1	2,59
2	2,6
3	2,58
4	2,62
5	2,63
6	2,61
7	2,62
8	2,58
9	2,6
10	2,61

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

5.2.3.2 Humedad Higroscópica:

Se denomina humedad higroscópica a la cantidad de agua absorbida en una muestra, expresada en porcentaje de su peso, hasta los 105 °C. La prueba se realiza de acuerdo a la instrucción I.CK-7.1-02 que consta en el anexo 1 (procedimientos e instrucciones del manual de calidad del laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A)

Resultados obtenidos:

Tabla N° 10

Humedad de las muestras preparadas

Muestra	Humedad (%)
1	4,1
2	4,5
3	6,4
4	3,7
5	4,6
6	5,66
7	7,6
8	5,2
9	2,04
10	21,16

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

5.2.3.3 Fineza:

Se denomina fineza al grado granulométrico retenido en un tamiz clasificador de materiales por medio de una malla de abertura determinada y especificada. La prueba se realiza de acuerdo a la instrucción I.CK-7.1-03 que consta en el anexo 1 (procedimientos e instrucciones del manual de calidad del laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A)

Resultados obtenidos:

Tabla N°11

Fineza de las muestras preparadas

Muestra	Retenido en tamiz de 45 micras (%)
1	34
2	33
3	26
4	38,2
5	27,1
6	18,2
7	33,8
8	36,9
9	26,9
10	31,6

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

5.2.4 Ensayos de difracción por rayos x

Para los ensayos en el laboratorio de control de calidad, se han tomado las muestras libres de humedad y en partículas cuya fineza se ha detallado anteriormente, estas van a ser sometidas al ensayo con la utilización de un equipo denominado difractómetro de rayos x

5.2.4.1 Difracción de rayos x

La Difracción de Rayos X es una técnica de análisis instrumental que se utiliza para determinar las fases minerales que se encuentran contenidas en un determinado material.

Esta técnica instrumental utilizada en los laboratorios de control de calidad de las plantas cementeras, está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación.

Los Rayos X tienen longitudes de onda de Angstroms, del mismo orden que las distancias interatómicas de los componentes de las redes cristalinas. Al ser irradiados sobre la muestra a analizar, los Rayos X se difractan con ángulos que dependen de las distancias interatómicas.

El método analítico del Polvo al Azar o de Debye-Scherrer consiste en irradiar con Rayos X sobre una muestra formada por multitud de cristales colocados al azar en todas las direcciones posibles. Para ello es aplicable la Ley de Bragg: $n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$, en la que “d” es la distancia entre los planos interatómicos que producen la difracción”⁵

5.2.4.1.1 Objeto y aplicaciones.

La difracción de rayos-x es un método de alta tecnología no destructivo para el análisis de una amplia gama de materiales, incluso fluidos, metales, minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, productos farmacéuticos, recubrimientos de capa fina, cerámica y semiconductor. La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina.

Otras aplicaciones son el análisis cuantitativo de compuestos cristalinos, la determinación de tamaños de cristales, la determinación del coeficiente de dilatación térmica, cálculos sobre la simetría de los cristales, además y como base para la presente investigación se utiliza en la determinación de la fase amorfa de una muestra, la misma que permite entre otras cosas calcular la actividad puzolánica que tendrá un material caracterizado dentro de esta clasificación como es el caso de las puzolanas, arcillas, caolines, residuos pétreos de la construcción, etc.

⁵http://www.ua.es/es/investigacion/sti/servicios/analisis_instrumental/rayosx/drx.html

5.2.4.2 Fluorescencia de rayos x

“Es una técnica utilizada para realizar análisis cualitativos y cuantitativos de la composición elemental de un determinado material por excitación de átomos y detección de sus rayos x característicos”⁶

5.2.4.2.1 Objeto y aplicaciones.

La fluorescencia por rayos x tiene por objeto determinar la composición porcentual en forma de óxidos que contiene un determinado material, el cual ha sido reducido a partículas micrométricas y sometido a presiones para formar en un molde de aluminio una pastilla de superficie plana que será expuesta a la incidencia de rayos x. Las aplicaciones más comunes están vinculadas a los métodos de análisis de materias primas, productos en proceso y productos terminados en las áreas de metalúrgica, mineralogía, cementos entre otros.

En el área específica de los análisis en los laboratorios de las plantas cementeras, está orientada a proporcionar información sobre la composición química de las materias primas como calizas, arcillas, puzolanas, yesos, materiales alternativos como es el caso de los residuos pétreos de la construcción, etc.

⁶Bruker AXS.- Adances X-ray Solutions, 

Tabla N°12

Análisis de muestras de residuos pétreos de la construcción por Fluorescencia de rayos

X

MUESTRA	FECHA	SiO2 (%)	CaO (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	MgO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	SO3 (%)	TiO2 (%)
RESIDUO PETREO 1	19/06/2012 11:16	48,19	14,05	12,56	5,02	1,1	1,05	1,48	0,78	0,61
RESIDUO PETREO 2	19/06/2012 16:26	50,49	14,25	11,87	4,73	1,7	1,47	1,46	0,59	0,54
RESIDUO PETREO 3	24/06/2012 16:18	45,59	17,56	11,16	4,92	1,37	1,63	1,55	2,92	0,54
RESIDUO PETREO 4	24/06/2012 16:36	51,64	12,2	13,52	4,76	1,23	1,58	1,87	0,7	0,61
RESIDUO PETREO 5	24/06/2012 17:03	65,63	8,75	14,99	5,16	0,96	1,59	1,61	0,34	0,75
RESIDUO PETREO 6	24/06/2012 17:31	53,34	9,49	13,79	4,45	1,14	1,61	1,99	1,6	0,58
RESIDUO PETREO 7	26/06/2012 16:57	41,66	23,62	10,43	3,78	0,79	1,11	1,92	0,64	0,4
RESIDUO PETREO 8	26/06/2012 17:13	63,22	6,01	16,81	3,45	0,56	1,32	2,61	0,19	0,52
RESIDUO PETREO 9	28/06/2012 16:27	57,71	7,51	14,02	4,8	1,29	2,18	2,07	0,28	0,49
RESIDUO PETREO10	28/06/2012 16:37	24,12	42,3	5,11	3,15	0,87	0,51	0,96	1,17	0,31

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

En base a los resultados obtenidos de estos análisis, se puede decir de que en la composición química de los residuos pétreos de la construcción están presentes materiales como cemento, cal, arena, etc y que se presume cuando sean utilizados como materiales sustitutivos tendrían un comportamiento similar a la puzolana o al mismo cemento, cuestión que habrá de comprobarse con el uso de las técnicas de difracción y sobretodo, con la aplicación directa en la dosificación y pruebas en laboratorio.

5.2.4.3 Determinación de la Fase Amorfa.

Los análisis cuantitativo y cualitativo realizados a través del método de fluorescencia por rayos x en materiales puzolánicos sobretodo, proporcionan información del contenido porcentual de un determinado componente en la muestra y a través de la técnica de difracción de rayos x, además de esta información, se complementa con aquella que identifica la clase de mineral presente en forma de cristales característicos.

La actividad que presenta un determinado material que se presume tiene una composición similar al de los materiales puzolánicos, está vinculada a las reacciones que se dan a través de la fase amorfa, la cual es determinada por difracción de rayos x por diferencia entre el total de componentes y la fase cristalina.

5.2.4.4 Cuantificación y determinación de la actividad puzolánica por fase amorfa

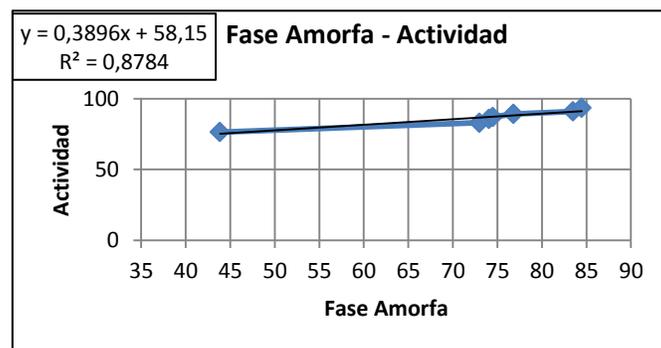
Para esta determinación al interior del laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapan S.A, se ha desarrollado un software en base al análisis de muestras de puzolanas de diferentes sectores del País y que son utilizadas en el proceso de molienda de cemento, tomando como base la fase amorfa que estas contienen para luego a través del método contemplado en el anexo A de la Norma INEN 490: 2010, determinar la actividad puzolánica en el laboratorio de pruebas físicas.

Con la aplicación de esta curva característica, se realiza la preparación de la muestra, moliéndola hasta una fineza requerida, se analiza por difracción y se realiza la lectura fase amorfa vs actividad.

Tabla N°13

Cuantificación de la fase amorfa

PATRON	ACTIVIDAD	FASE AMORFO
P6	76,4	43,85
P4	83	73
p8	85,7	74,05
P7	87	74,5
P3	89,2	76,8
P5	91	83,51
P2	93,5	84,47



Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

Las muestras patrón del presente cuadro corresponden a puzolanas de diferentes sectores del País y que son frecuentemente utilizadas en dosificación en el proceso de molienda de cemento en Compañía Industrias Guapán S.A; la actividad está determinada a través del ensayo contemplado en la Norma INEN 490 y la fase amorfo por difracción. En aplicación a esta técnica, se presentan a continuación los resultados de las mediciones realizadas sobre las muestras de materiales pétreos de la construcción motivo de la presente investigación

Tabla N°14

Reporte de Análisis de puzolana por Difractometría

MUESTRA	FECHA	Quartz	Muscovite 2M1	Anorthite	Albite high K0.16	Calcite	Dolomite	Gypsum	Actinolite	CRISTALINA	AMORFO	ACTIVIDAD
1	17/06/2012	44,435	3,018	0,054	30,676	8,066	0,168	3,379	10,203	40,35	59,65	81,35
2	17/06/2012	52,865	2,053	0,034	26,207	8,387	0,298	2,369	7,787	46,62	53,38	78,91
3	17/06/2012	35,295	3,018	0,045	40,22	10,869	0,101	3,289	7,163	37,99	62,01	82,27
4	19/06/2012	56,405	2,158	0,042	23,949	4,21	0,878	1,932	10,425	44,9	55,1	79,58
5	20/06/2012	47,063	1,49	0,059	33,062	5,827	2,708	3,116	6,675	37,36	62,64	82,52
6	21/06/2012	45,586	2,223	0,071	33,867	4,728	1,344	3,477	8,704	34,8	65,2	83,51
7	26/06/2012	31,774	1,528	1,406	19,547	30,376	0,688	2,468	12,212	36,66	63,34	82,79
8	26/06/2012	61,697	3,297	0,019	18,891	4,028	0,334	2,077	9,656	53,05	46,95	76,41
9	27/06/2012	42,375	2,45	0,028	38,076	2,51	2,702	2,221	9,638	64,78	35,22	71,85
10	28/06/2012	12,603	0,61	0,863	17,343	54,904	0,339	3,055	10,285	36,12	63,88	83,00

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

Los resultados de actividad puzolánica presentados en la última columna de este cuadro, demuestran que los materiales seleccionados para la presente investigación presentan valores mayores al 75%, requisito indispensable para ser utilizados en la fabricación del producto y que a su vez serán comprobados por el método del cemento de acuerdo al anexo A de la Norma INEN 490 en la sección de ensayos físicos.

La muestra No 9 no cumple con el requisito mínimo de actividad puzolánica por lo que no es considerada para las pruebas siguientes.

5.3 Pruebas de Laboratorio

Las pruebas que se realizan en el laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapan S.A, están orientadas a determinar las características de calidad del cemento que se produce en el proceso de molienda de cemento. Estas determinaciones se las realiza tomando como base las Normas INEN que se detallan en el Anexo 2.

El objetivo que se persigue en esta parte de la investigación es realizar las dosificaciones con los materiales pétreos de la construcción que han sido analizados y cuya actividad puzolánica lo permite, tomando en consideración que los materiales que presentan esta característica tienen que contener como mínimo el valor de 75%, a sabiendas que este valor viene dado por la relación entre la resistencia a la compresión de la muestra de ensayo y la muestra patrón preparada con cemento producido únicamente con yeso y clinker en el proceso de molienda de cemento.

5.3.1 Ensayos físico-mecánicos

Tomando en consideración la Tabla No 3 del capítulo 3, y en aplicación de los procedimientos de laboratorio GC120CK y GC102CK, se ha procedido a la determinación de la humedad y la densidad real de las muestras de residuos pétreos de la construcción necesaria en la preparación de morteros de cemento para la cuantificación de la actividad puzolánica y, a través de los procedimientos contemplados en las Normas INEN, se realizaron las determinaciones de las restantes características de

calidad tales como: expansión en autoclave, fineza en el tamiz de 45 micras, densidad aparente, superficie específica, tiempos de fraguado, consistencia normal, contenido de aire en mortero y resistencia a la compresión en morteros.

5.3.2 Norma INEN 490 para cemento portland puzolánico

Esta Norma establece los requisitos que deben cumplir los cementos hidráulicos compuestos que se emplean en aplicaciones generales y especiales, utilizando cemento portland o clinker de cemento portland, con escoria o puzolana, o ambas; o escoria con cal. En la presente investigación, se han tomado como base estos requisitos al igual que las Normas para los ensayos de laboratorio a fin de determinar las características físicas en la preparación de morteros de cemento tanto para la cuantificación de la actividad puzolánica así como para el producto a elaborar con estos materiales.

5.3.3 Determinación de la actividad puzolánica por el método del cemento

Para la determinación de esta característica de calidad se toma como base el Anexo A de la Norma Ecuatoriana NTE INEN 490:2010, quinta revisión, con la cual se han calculado los pesos de cemento patrón, arena normalizada, material pétreo de la construcción y el volumen de agua necesario para la preparación de morteros sujetos de análisis, los cuales serán probados en su resistencia a la compresión a la edad de 28 días y comparados con los resultados de las muestras preparadas únicamente con cemento patrón y arena normalizada.

Cabe anotar que la actividad puzolánica viene determinada por la relación entre la resistencia a la compresión a la edad de 28 días del mortero preparado con residuos pétreos y la resistencia a la compresión del mortero preparado únicamente con cemento patrón. El cemento patrón utilizado en estas pruebas fue preparado a escala real en solicitud al Departamento de producción para el cambio de dosificación que contempla el uso de yeso y clinker en porcentajes de 3,5 y 96,5 respectivamente.

Tabla N° 15

Peso de materiales para la preparación de morteros

Muestra	Densidad (g/cc)	PESO MATERIAL (g)	PESO CEMENTO(g)	PESO ARENA(g)	AGUA(cc)
1	2,59	151,59	325	1375	250
2	2,6	152,17	325	1375	250
3	2,58	151,00	325	1375	250
4	2,62	153,34	325	1375	250
5	2,63	153,93	325	1375	250
6	2,61	152,76	325	1375	250
7	2,62	153,34	325	1375	250
8	2,58	151,00	325	1375	250
9	2,6	152,17	325	1375	250
10	2,61	152,76	325	1375	250

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

La preparación se realiza para 6 cubos de mortero, los cuales son almacenados durante 24 horas en la cámara húmeda, luego de lo cual se complementa el almacenamiento por 27 días en las piscinas de maduración a temperatura entre 18 y 24 °C. Al término de este período, se someten las muestras a esfuerzos de compresión y se valoran los resultados para aceptación con el criterio establecido en el numeral 6.10.2 de la Norma INEN 488:2009 segunda revisión. Para la presente investigación se ha tomado el 7% como porcentaje de dispersión entre los resultados de la resistencia a la compresión de la misma amasada, en este caso seis cubos.

$$\% \text{ actividad puzolanica} = \frac{\text{resistencia a la compresión de la muestra del experimento}}{\text{resistencia a la compresión de la muestra patrón}}$$

Tabla N°. 16

Resultados de las pruebas de actividad puzolánica por el método del cemento.

MUESTRA # 1													
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	ACTIVIDAD PUZOLANICA (%)
Xi	Xmedia	Xi-Xmedia	(Xi-Xmedia) ²	N	D	δ^2	Δ						
5800	6628,33	828,33	686136,11	6	138,06	114356,02	338,17	5,10	ACEPTA	5800	6628,3333	25,99	81,74
6000	6628,33	628,33	394802,78	6	104,72	65800,46	256,52	3,87	ACEPTA	6000			
7000	6628,33	371,67	138136,11	6	61,94	23022,69	151,73	2,29	ACEPTA	7000			
7020	6628,33	391,67	153402,78	6	65,28	25567,13	159,90	2,41	ACEPTA	7020			
7060	6628,33	431,67	186336,11	6	71,94	31056,02	176,23	2,66	ACEPTA	7060			
6890	6628,33	261,67	68469,44	6	43,61	11411,57	106,82	1,61	ACEPTA	6890			

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

MUESTRA # 2													
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	ACTIVIDAD PUZOLANICA (%)
7310	6536,67	773,33	598044,44	6	128,89	99674,07	315,71	4,83	ACEPTA	7310	6536,6667	25,63	80,61
7140	6536,67	603,33	364011,11	6	100,56	60668,52	246,31	3,77	ACEPTA	7140			
6810	6536,67	273,33	74711,11	6	45,56	12451,85	111,59	1,71	ACEPTA	6810			
5580	6536,67	956,67	915211,11	6	159,44	152535,19	390,56	5,97	ACEPTA	5580			
6840	6536,67	303,33	92011,11	6	50,56	15335,19	123,84	1,89	ACEPTA	6840			
5540	6536,67	996,67	993344,44	6	166,11	165557,41	406,89	6,22	ACEPTA	5540			
7310	6536,67	773,33	598044,44	6	128,89	99674,07	315,71	4,83	ACEPTA	7310			

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

MUESTRA # 3																	
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	ACTIVIDAD PUZOLANICA (%)				
Xi	Xmedia	Xi-Xmedia	(Xi-Xmedia) ²	N	D	δ ²	Δ										
6450	6338,33	111,67	12469,44	6	18,61	2078,24	45,59	0,72	ACEPTA	6450	6338,3333	24,86	78,16				
5900	6338,33	438,33	192136,11	6	73,06	32022,69	178,95	2,82	ACEPTA	5900							
6730	6338,33	391,67	153402,78	6	65,28	25567,13	159,90	2,52	ACEPTA	6730							
6260	6338,33	78,33	6136,11	6	13,06	1022,69	31,98	0,50	ACEPTA	6260							
6330	6338,33	8,33	69,44	6	1,39	11,57	3,40	0,05	ACEPTA	6330							
6360	6338,33	21,67	469,44	6	3,61	78,24	8,85	0,14	ACEPTA	6360							

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

MUESTRA # 4																	
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	ACTIVIDAD PUZOLANICA (%)				
Xi	Xmedia	Xi-Xmedia	(Xi-Xmedia) ²	N	D	δ ²	Δ										
6210	6285,00	75,00	5625,00	6	12,50	937,50	30,62	0,49	ACEPTA	6210	6285	24,65	77,51				
6630	6285,00	345,00	119025,00	6	57,50	19837,50	140,85	2,24	ACEPTA	6630							
5810	6285,00	475,00	225625,00	6	79,17	37604,17	193,92	3,09	ACEPTA	5810							
6160	6285,00	125,00	15625,00	6	20,83	2604,17	51,03	0,81	ACEPTA	6160							
6600	6285,00	315,00	99225,00	6	52,50	16537,50	128,60	2,05	ACEPTA	6600							
6300	6285,00	15,00	225,00	6	2,50	37,50	6,12	0,10	ACEPTA	6300							

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

MUESTRA # 5																	
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	ACTIVIDAD PUZOLANICA (%)				
Xi	Xmedia	Xi-Xmedia	(Xi-Xmedia) ²	N	D	δ^2	Δ										
6400	6813,33	413,33	170844,44	6	68,89	28474,07	168,74	2,48	ACEPTA	6400	6813,3333	26,72	84,02				
6450	6813,33	363,33	132011,11	6	60,56	22001,85	148,33	2,18	ACEPTA	6450							
6830	6813,33	16,67	277,78	6	2,78	46,30	6,80	0,10	ACEPTA	6830							
7810	6813,33	996,67	993344,44	6	166,11	165557,41	406,89	5,97	ACEPTA	7810							
6630	6813,33	183,33	33611,11	6	30,56	5601,85	74,85	1,10	ACEPTA	6630							
6760	6813,33	53,33	2844,44	6	8,89	474,07	21,77	0,32	ACEPTA	6760							

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

MUESTRA # 6																	
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	ACTIVIDAD PUZOLANICA (%)				
Xi	Xmedia	Xi-Xmedia	(Xi-Xmedia) ²	N	D	δ^2	Δ										
7050	6900,00	150,00	22500,00	6	25,00	3750,00	61,24	0,89	ACEPTA	7050	6900	27,06	85,09				
6310	6900,00	590,00	348100,00	6	98,33	58016,67	240,87	3,49	ACEPTA	6310							
6700	6900,00	200,00	40000,00	6	33,33	6666,67	81,65	1,18	ACEPTA	6700							
7310	6900,00	410,00	168100,00	6	68,33	28016,67	167,38	2,43	ACEPTA	7310							
7270	6900,00	370,00	136900,00	6	61,67	22816,67	151,05	2,19	ACEPTA	7270							
6760	6900,00	140,00	19600,00	6	23,33	3266,67	57,15	0,83	ACEPTA	6760							

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

MUESTRA # 7																	
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	ACTIVIDAD PUZOLANICA (%)				
Xi	Xmedia	Xi-Xmedia	(Xi-Xmedia) ²	N	D	δ^2	Δ										
6390	6573,33	183,33	33611,11	6	30,56	5601,85	74,85	1,14	ACEPTA	6390	6573,3333	25,78	81,06				
6790	6573,33	216,67	46944,44	6	36,11	7824,07	88,45	1,35	ACEPTA	6790							
6170	6573,33	403,33	162677,78	6	67,22	27112,96	164,66	2,50	ACEPTA	6170							
6980	6573,33	406,67	165377,78	6	67,78	27562,96	166,02	2,53	ACEPTA	6980							
6750	6573,33	176,67	31211,11	6	29,44	5201,85	72,12	1,10	ACEPTA	6750							
6360	6573,33	213,33	45511,11	6	35,56	7585,19	87,09	1,32	ACEPTA	6360							

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

MUESTRA # 8																	
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	ACTIVIDAD PUZOLANICA (%)				
Xi	Xmedia	Xi-Xmedia	(Xi-Xmedia) ²	N	D	δ^2	Δ										
4080	5851,67	1771,67	3138802,78	6	295,28	523133,80	723,28	12,36	RECHAZA	X	6206	24,34	76,53				
6330	5851,67	478,33	228802,78	6	79,72	38133,80	195,28	3,34	ACEPTA	6330							
5440	5851,67	411,67	169469,44	6	68,61	28244,91	168,06	2,87	ACEPTA	5440							
6410	5851,67	558,33	311736,11	6	93,06	51956,02	227,94	3,90	ACEPTA	6410							
6260	5851,67	408,33	166736,11	6	68,06	27789,35	166,70	2,85	ACEPTA	6260							
6590	5851,67	738,33	545136,11	6	123,06	90856,02	301,42	5,15	ACEPTA	6590							

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

MUESTRA # 9																
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	ACTIVIDAD PUZOLANICA (%)			
Xi	Xmedia	Xi-Xmedia	(Xi-Xmedia) ²	N	D	δ ²	Δ									
6070	5873,33	196,67	38677,78	6	32,78	6446,30	80,29	1,37	ACEPTA	6070	5873,3333	23,03	72,43			
5660	5873,33	213,33	45511,11	6	35,56	7585,19	87,09	1,48	ACEPTA	5660						
5580	5873,33	293,33	86044,44	6	48,89	14340,74	119,75	2,04	ACEPTA	5580						
6400	5873,33	526,67	277377,78	6	87,78	46229,63	215,01	3,66	ACEPTA	6400						
5750	5873,33	123,33	15211,11	6	20,56	2535,19	50,35	0,86	ACEPTA	5750						
5780	5873,33	93,33	8711,11	6	15,56	1451,85	38,10	0,65	ACEPTA	5780						

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

El resultado de esta muestra no alcanza el valor mínimo de **75%** por lo que se rechaza y no es considerada para las pruebas complementarias en la preparación de cemento a través del diseño experimental.

MUESTRA # 10																
MUESTRA (Kgf)	MEDIA			Numero de datos	Desviación media	Varianza	Desviación estándar	% de dispersión	Criterio Aceptación	Resultado Kg/cm2	PROMEDIO Kg/cm2	RESISTENCIA MPa	AP (%)			
Xi	Xmedia	Xi-Xmedia	(Xi-Xmedia) ²	N	D	δ ²	Δ									
6540	6815,00	275,00	75625,00	6	45,83	12604,17	112,27	1,65	ACEPTA	6540	6815	26,73	84,04			
6560	6815,00	255,00	65025,00	6	42,50	10837,50	104,10	1,53	ACEPTA	6560						
7000	6815,00	185,00	34225,00	6	30,83	5704,17	75,53	1,11	ACEPTA	7000						
7290	6815,00	475,00	225625,00	6	79,17	37604,17	193,92	2,85	ACEPTA	7290						
6970	6815,00	155,00	24025,00	6	25,83	4004,17	63,28	0,93	ACEPTA	6970						
6530	6815,00	285,00	81225,00	6	47,50	13537,50	116,35	1,71	ACEPTA	6530						

Criterio de aceptación: % de dispersión menor al 7%

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

5.3.4 Dosificaciones con los residuos pétreos de la construcción en base a un diseño experimental

Tomando en consideración los resultados obtenidos por difracción de rayos x en las muestras de materiales pétreos de la construcción, se han escogido aquellas que contienen un valor igual o mayor al 75% y se ha procedido con el siguiente diseño experimental:

Variable de entrada: Actividad puzolánica

Variabes de salida: Resistencia a la compresión a 3 días, 7 días y 28 días.

Modelo para número de experimentos: 2^k , donde:

K = 4 agrupaciones entre rangos de actividad puzolánica a saber:

Tabla N° 17
Diseño Experimental

ACTIVIDAD PUZOLANICA	DISEÑO EXPERIMENTAL				
	RANGOS DE ACTIVIDAD	VARIABLES	MINIMO(-1)	MAXIMO(+1)	MUESTRAS
M1= 81,74	(81-83]%	A	3%	4%	M1,M7
M2=80,61	(80-81]%	B	2%	3%	M2
M3=78,16	(79-80]%	C	1%	2%	M3,M4
M4=77,51	(76-79]%	D	0,50%	1%	M8
M5=84,02					
M6=85,09					
M7=81,06					
M8=76,53					
M10=84,04					
EXPERIMENTOS	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	
2	-1	1	1	1	
3	1	-1	1	1	
4	-1	-1	1	1	
5	1	1	-1	1	
6	-1	1	-1	1	
7	1	-1	-1	1	
8	-1	-1	-1	1	
9	1	1	1	-1	

10	-1	1	1	-1
11	1	-1	1	-1
12	-1	-1	1	-1
13	1	1	-1	-1
14	-1	1	-1	-1
15	1	-1	-1	-1
16	-1	-1	-1	-1

EXPERIMENTO ADICIONAL	RANGOS ACTIVIDAD	% REEMPLAZO	MUESTRAS	% UTILIZADO
17	84%<X	(10-15]%	M5,M6,M10	13%

DOSIFICACIONES CON DISEÑO EXPERIMENTAL					
PESO DE PRODUCTO PARA CADA EXPERIMENTO = 800 g					
EXPERIMENTOS	% A	%B	%C	%D	% TOTAL
1	4	3	2	1	10
2	3	3	2	1	9
3	4	2	2	1	9
4	3	2	2	1	8
5	4	3	1	1	9
6	3	3	1	1	8
7	4	2	1	1	8
8	3	2	1	1	7
9	4	3	2	0,5	9,5
10	3	3	2	0,5	8,5
11	4	2	2	0,5	8,5
12	3	2	2	0,5	7,5
13	4	3	1	0,5	8,5
14	3	3	1	0,5	7,5
15	4	2	1	0,5	7,5
16	3	2	1	0,5	6,5

VARIABLES	A		B	C		D	TOTAL A
MUESTRAS	Muestra 1	Muestra 7	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 8	SUSTITUIR
EXPERIMENTO NUMERO 1	4% = 32 gramos		3% = 24gramos	2% = 16 gramos		1 % = 8 gramos	10%
	16 gramos	16 gramos	24 gramos	8 gramos	8 gramos	8 gramos	80 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 2	3% = 24 gramos		3% = 24gramos	2% = 16 gramos		1 % = 8 gramos	9%
	12 gramos	12 gramos	24 gramos	8 gramos	8 gramos	8 gramos	72 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 3	4% = 32 gramos		2% = 16 gramos	2% = 16 gramos		1 % = 8 gramos	9%
	16 gramos	16 gramos	16 gramos	8 gramos	8 gramos	8 gramos	72 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 4	3% = 24 gramos		2% = 16 gramos	2% = 16 gramos		1 % = 8 gramos	8%
	12 gramos	12 gramos	16 gramos	8 gramos	8 gramos	8 gramos	64 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 5	4% = 32 gramos		3% = 24gramos	1 % = 8 gramos		1 % = 8 gramos	9%
	16 gramos	16 gramos	24 gramos	4 gramos	4 gramos	8 gramos	72 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 6	3 % = 24 gramos		3% = 24gramos	1% = 8 gramos		1 % = 8 gramos	8%
	12 gramos	12 gramos	24 gramos	4 gramos	4 gramos	8 gramos	64 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 7	4% = 32 gramos		2% = 16 gramos	1% = 8 gramos		1 % = 8 gramos	8%
	16 gramos	16 gramos	16 gramos	4 gramos	4 gramos	8 gramos	64 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 8	3% = 24 gramos		2% = 16 gramos	1 % = 8 gramos		1 % = 8 gramos	7%
	12 gramos	12 gramos	16 gramos	4 gramos	4 gramos	8 gramos	56 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 9	4% = 32 gramos		3% = 24gramos	2% = 16 gramos		0,5 % = 4 gramos	9,5 %
	16 gramos	16 gramos	24 gramos	8 gramos	8 gramos	8 gramos	76 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 10	3 % = 24 gramos		3% = 24gramos	2% = 16 gramos		0,5 % = 4 gramos	8,5 %
	12 gramos	12 gramos	24 gramos	8 gramos	8 gramos	8 gramos	68 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 11	4% = 32 gramos		2% = 16 gramos	2% = 16 gramos		0,5 % = 4 gramos	8,5 %
	16 gramos	16 gramos	16 gramos	8 gramos	8 gramos	8 gramos	68 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 12	3% = 24 gramos		2 % = 16 gramos	2% = 16 gramos		0,5 % = 4 gramos	7,5 %
	12 gramos	12 gramos	16 gramos	8 gramos	8 gramos	8 gramos	60 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 13	4% = 32 gramos		3% = 24gramos	1 % = 8 gramos		0,5 % = 4 gramos	8,5 %
	16 gramos	16 gramos	24 gramos	4 gramos	4 gramos	8 gramos	68 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 14	3 % = 24 gramos		3% = 24gramos	1 % = 8 gramos		0,5 % = 4 gramos	7,5 %
	12 gramos	12 gramos	24 gramos	4 gramos	4 gramos	8 gramos	60 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 15	4% = 32 gramos		2% = 16 gramos	1% = 8 gramos		0,5 % = 4 gramos	7,5 %
	16 gramos	16 gramos	16 gramos	4 gramos	4 gramos	8 gramos	60 gramos
EXPERIMENTO NUMERO 16	3% = 24 gramos		2 % = 16 gramos	1% = 8 gramos		0,5 % = 4 gramos	6,5 %
	12 gramos	12 gramos	16 gramos	4 gramos	4 gramos	8 gramos	52 gramos

Experimento Adicional

MUESTRA	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 10	TOTAL
EXPERIMENTO	4%	5%	4%	13%
NUMERO 17	32 gramos	40 gramos	32 gramos	104 gramos

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

5.3.5 Determinación de la resistencia a la compresión en muestras de cemento preparado con estos materiales.

Para la determinación de esta característica que se la considera de mayor importancia en la calidad del cemento, se ha tomado como base la Norma INEN 488: 2009 utilizando morteros en cubos de 50 mm de arista. En cada uno de los experimentos, se ha preparado la cantidad de 800 g de cemento tomando como base el cemento preparado en el proceso de molienda con la dosificación de 3,5 % de yeso, 20% de puzolana y 76,5 % de clinker. Con esta base, se realiza la dosificación y complemento con los materiales pétreos de la construcción considerados en el diseño experimental.

Tabla N° 18

Informe de Rotura y cálculo de la resistencia a la compresión de las muestras de Cemento preparadas con los residuos pétreos de la construcción

No Experimento	FECHA CONFECCION	FECHA ROTURA 3 DIAS	FECHA ROTURA 7 DIAS	FECHA ROTURA 28 DIAS	ROTURA		X Media	R Mpa	ROTURA		X media	R Mpa	ROTURA		X media	R Mpa
					3	DIAS			7	DIAS			28	DIAS		
1	30/07/2012	02/08/2012	06/08/2012	27/08/2012	3820	3670	3745	14,7	5100	5140	5120	20,1	7740	7910	7825	30,7
2	30/07/2012	02/08/2012	06/08/2012	27/08/2012	3940	3980	3960	15,5	5170	5390	5280	20,7	8520	8160	8340	32,7
3	31/07/2012	03/08/2012	07/08/2012	28/08/2012	3830	3780	3805	14,9	5010	5430	5220	20,5	7385	7830	7608	29,8
4	31/07/2012	03/08/2012	07/08/2012	28/08/2012	3850	3650	3750	14,7	5100	5340	5220	20,5	8250	8230	8240	32,3
5	01/08/2012	04/08/2012	08/08/2012	29/08/2012	4030	4190	4110	16,1	5310	5440	5375	21,1	9010	9150	9080	35,6
6	01/08/2012	04/08/2012	08/08/2012	29/08/2012	4190	4320	4255	16,7	5820	5740	5780	22,7	9380	9700	9540	37,4
7	02/08/2012	05/08/2012	09/08/2012	30/08/2012	4350	4020	4185	16,4	5830	5820	5825	22,8	8800	8500	8650	33,9
8	02/08/2012	05/08/2012	09/08/2012	30/08/2012	4220	4410	4315	16,9	5860	6000	5930	23,3	8330	8110	8220	32,2
9	03/08/2012	06/08/2012	10/08/2012	31/08/2012	4150	4160	4155	16,3	5650	5630	5640	22,1	8550	8390	8470	33,2
10	03/08/2012	06/08/2012	10/08/2012	31/08/2012	4290	4320	4305	16,9	5460	5520	5490	21,5	8200	8460	8330	32,7
11	06/08/2012	09/08/2012	13/08/2012	03/09/2012	4040	4230	4135	16,2	5520	5560	5540	21,7	7640	7820	7730	30,3
12	06/08/2012	09/08/2012	13/08/2012	03/09/2012	3870	3850	3860	15,1	6290	6240	6265	24,6	9400	9200	9300	36,5
13	07/08/2012	10/08/2012	14/08/2012	04/09/2012	3840	3860	3850	15,1	6070	6070	6070	23,8	7640	7720	7680	30,1
14	07/08/2012	10/08/2012	14/08/2012	04/09/2012	3770	3810	3790	14,9	5520	5870	5695	22,3	8150	8000	8075	31,7
15	08/08/2012	11/08/2012	15/08/2012	05/09/2012	4130	4170	4150	16,3	5790	6040	5915	23,2	8800	8820	8810	34,5
16	08/08/2012	11/08/2012	15/08/2012	05/09/2012	4480	4620	4550	17,8	6360	6220	6290	24,7	9720	9070	9395	36,8
17	09/08/2012	12/08/2012	16/08/2012	06/09/2012	3730	3790	3760	14,7	5580	5285	5433	21,3	8150	8245	8198	32,1

5.3.6 Análisis comparativo de resultados

Tabla N° 19

Informe mensual de la calidad del producto Mes: Agosto 2012

FINEZA				FRAGUADOS			RESISTENCIAS					
	RETENI	BLAINE	MINIMO	F.INICIAL	MINIMO	F.FINAL	R. 3DIAS	MINIMO	R. 7 DIAS	MINIMO	R. 28 DIAS	MINIMO
FECHA	TAM. 325	cm ² /g	cm ² /g	Minutos	Minutos	Minutos	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
1	4	4113	2800	195	45	255	18,3	13	26	20	33,1	25
2	4,2	4176	2800	150	45	240	21,4	13	25,9	20	31,5	25
3	2,7	4289	2800	150	45	225	20,1	13	26,8	20	33,6	25
4	3,3	4289	2800	195	45	255	22,5	13	27,3	20	35	25
6	2,9	3994	2800	180	45	240	18,1	13	25,8	20	32,4	25
7	2,5	4003	2800	150	45	225	19,3	13	27	20	35,3	25
8	2,4	4159	2800	165	45	240	19	13	26,2	20	34,6	25
9	2,2	4144	2800	180	45	255	20	13	25,6	20	34,6	25
13	2,9	4212	2800	185	45	260	22,4	13	28,2	20	29,5	25
14	4,2	4167	2800	165	45	240	20,8	13	27	20	28,1	25
15	4,1	4171	2800	190	45	250	19,6	13	26	20	33,4	25
16	2,7	4194	2800	160	45	220	23,5	13	29,1	20	36,3	25
17	3	4586	2800	195	45	255	22,4	13	28,2	20	31,2	25
18	1	4620	2800	210	45	280	26,5	13	29	20	38,4	25
20	3	4199	2800	175	45	250	19,3	13	24,6	20	34,2	25

21	2,2	4311	2800	175	45	250	20,1	13	25,3	20	34,7	25
22	2	4289	2800	180	45	240	18,7	13	27	20	30,2	25
23	3,2	4125	2800	175	45	235	20,3	13	27,8	20	35,6	25
24	2,2	4239	2800	195	45	255	19,3	13	24,5	20	28,3	25
25	3,4	4194	2800	205	45	280	23,6	13	30,4	20	34,9	25
27	1,9	4217	2800	135	45	210	19,3	13	26,1	20	35,7	25
28	2,1	4333	2800	160	45	250	17,2	13	24,9	20	36	25
29	2,1	4311	2800	160	45	250	17,9	13	24,5	20	37,5	25
30	2,6	4295	2800	135	45	210	17,7	13	22,5	20		25
31	2,7	4443	2800	210	45	270	19,3	13	26,1	20		25
MEDIA	2,78	4243		175,0		245,6	20,26		26,47		33,66	
MINIM	1	3994		135		210	17,2		22,5		28,1	
MAX	4,2	4620		210		280	26,5		30,4		38,4	
D.STD	0,79	147		21,70		18,28	2,19		1,72		2,77	

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

De lo que se puede apreciar en los cuadros 18 y 19 se determina que el cemento producido como parte de la presente investigación utilizando los residuos pétreos de la construcción y aplicando el diseño experimental expuesto anteriormente, cumple con los requisitos mínimos establecidos en la Norma INEN 490 para cemento portland puzolánico, por lo que se consideran satisfactorios, sobre todo si se compara con los resultados del cemento que en la actualidad se encuentra produciendo la Compañía Industrias Guapán S.A y que corresponden al mes de Agosto del 2012.

Tabla N° 20
Resumen de la calidad del producto de los experimentos

EXPERIMENTO	FINEZA			FRAGUADOS			RESISTENCIAS				R.28 DIAS	MINIMO
	RETENI	BLAINE	MINIMO	F.INICIAL	MINIMO	F.FINAL	R. 3DIAS	MINIMO	R. 7 DIAS	MINIMO		
	TAM. 325	cm ² /g	cm ² /g	Minutos	Minutos	Minutos	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
1	5,1	4392	2800	195	45	255	14,7	13	20,1	20	30,7	25
2	5,3	4456	2800	155	45	245	15,5	13	20,7	20	32,7	25
3	4,4	4413	2800	160	45	220	14,9	13	20,5	20	29,8	25
4	4,7	4238	2800	190	45	255	14,7	13	20,5	20	32,3	25
6	4,7	4370	2800	185	45	245	16,1	13	21,1	20	35,6	25
7	6	4260	2800	155	45	225	16,7	13	22,7	20	37,4	25
8	6,4	4283	2800	165	45	245	16,4	13	22,8	20	33,9	25
9	5,7	4238	2800	185	45	250	16,9	13	23,3	20	32,2	25
13	6,5	4305	2800	185	45	260	16,3	13	22,1	20	33,2	25
14	5,2	4021	2800	165	45	240	16,9	13	21,5	20	32,7	25
15	5,9	4273	2800	195	45	250	16,2	13	21,7	20	30,3	25
16	6,5	4114	2800	160	45	220	15,1	13	24,6	20	36,5	25
17	6,3	4361	2800	190	45	250	15,1	13	23,8	20	30,1	25
MEDIA	5,59	4286,46		175,77		243,07	15,81		21,95		32,88	
MINIM	4,4	4021		155		220	14,7		20,1		29,8	
MAX	6,5	4456		195		260	16,9		24,6		37,4	
D.STD	0,74	120,61		15,79		13,31	0,84		1,41		2,44	

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

Tabla N° 21

Comparación de la actividad por fase amorfa con actividad por método del cemento

MUESTRA	ACTIVIDAD POR DIFRACTOMETRIA	ACTIVIDAD POR METODO DEL CEMENTO
1	81,35	81,74
2	78,91	80,61
3	82,27	78,16
4	79,58	77,51
5	82,52	84,02
6	83,51	85,09
7	82,79	81,06
8	76,41	76,53
9	71,85	72,43
10	83	84,04

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

En los resultados obtenidos utilizando los dos métodos para la determinación de la actividad puzolánica se puede apreciar que no existe diferencia significativa y sabiendo que, para valorar una muestra por el método del cemento se tiene que esperar el resultado a los 28 días, el método por difracción cobra mucho interés y es aplicable en la mayoría de plantas que disponen de estos equipos, puesto que facilita el análisis y la toma de decisiones con respecto a estos materiales.

5.4 Conclusiones

En el presente capítulo, se han podido realizar las pruebas y ensayos físicos y químicos de los residuos pétreos de la construcción con la aplicación de las Normas y procedimientos tanto internos de la Compañía así como del INEN, dando lugar a la

verificación de resultados tomando como base de aplicación el diseño experimental que permite una investigación ordenada con datos reales en la sustitución de materiales alternativos en el proceso de molienda de cemento sin que las características del producto final se vean afectadas como se puede observar en los cuadros comparativos.

Por otra parte es interesante destacar que los métodos de análisis con la utilización de los equipos de difracción y fluorescencia de rayos x permiten obtener resultados en tiempos reales y menores a los empleados en los métodos tradicionales, con respuestas que satisfacen las expectativas en tanto y en cuanto son aplicables a la escala real de los procesos de valoración de materias primas, producto en proceso y producto terminado.

CAPITULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1 Objetivos

- En el presente capítulo se van a analizar las condiciones económicas por el uso de los materiales pétreos de la construcción como sustituto de los materiales tradicionales tales como clinker y puzolana en el proceso de molienda de cemento en Compañía Industrias Guapan S.A, luego de los resultados obtenidos en el capítulo V.

6.2 Cuantificación del uso de los residuos pétreos de la construcción en el Proceso final de molienda de cemento

De acuerdo a los resultados obtenidos con las dosificaciones realizadas en el laboratorio de control de calidad en función del diseño experimental planteado, se deduce que es posible llevar la investigación a escala real, es decir, en el proceso mismo de molienda de cemento, más aún que la muestra base para el diseño fue tomada de éste directamente.

Para la cuantificación del uso de estos materiales, se va a tomar en consideración las dosificaciones en los 17 experimentos llevados a cabo a sabiendas que las 9 de las 10 muestras tomadas en los diferentes sectores de la Ciudad de Azogues así como en la escombrera Municipal, cumplen con el requisito mínimo de actividad puzolánica para ser utilizados en la fabricación de cemento.

Tabla N° 22

Resumen de las dosificaciones en las pruebas de laboratorio

EXPERIMENTO	PORCENTAJE DE SUSTITUCION (%)	PESO DE SUSTITUCION (g)	PESO TOTAL DE MUESTRA(g)
1	10	80	800
2	9	72	800
3	9	72	800
4	8	64	800
5	9	72	800
6	8	64	800
7	8	64	800
8	7	56	800
9	9.5	76	800
10	8.5	68	800
11	8.5	68	800
12	7.5	60	800
13	8.5	68	800
14	7.5	68	800
15	7.5	60	800
16	6.5	52	800
17	13	104	800

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

De acuerdo a esta información y a los resultados obtenidos en la preparación de cemento con la sustitución de residuos pétreos de la construcción, descritos en el cuadro No. 17 del capítulo V, se establece que la actividad puzolánica de los materiales desde un rango de 75 a 84%, permite dosificarlos en porcentajes entre el 6,5 y el 13 % en peso, lo que llevado a la escala real considerando una capacidad de molienda de cemento por el orden de las 1 400 toneladas por día, significaría:

Tabla N° 23

Porcentaje y cantidad de materiales en uso en la molienda de cemento

EXP.	% USO	PESO(TON)	PESO(TON)	PESO(TON)	PESO(TON)	TON
	R.PETREO	SUSTITUCION	CLINKER	YESO	PUZOLANA	TOTAL/DIA PRODUCCION
			71,5(%)	3,5(%)	15(%)	1400
1	10	140	1001	49	210	1400
2	9	126	1001	49	224	1400
3	9	126	1001	49	224	1400
4	8	112	1001	49	238	1400
5	9	126	1001	49	224	1400
6	8	112	1001	49	238	1400
7	8	112	1001	49	238	1400
8	7	98	1001	49	252	1400
9	9,5	133	1001	49	217	1400
10	8,5	119	1001	49	231	1400
11	8,5	119	1001	49	231	1400
12	7,5	105	1001	49	245	1400
13	8,5	119	1001	49	231	1400
14	7,5	105	1001	49	245	1400
15	7,5	105	1001	49	245	1400
16	6,5	91	1001	49	259	1400
17	13	182	1001	49	168	1400

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

En el presente cuadro se considera una dosificación de 71,5% de clinker, 3,5%% de yeso como fijos y la sustitución se la realiza a la puzolana, además de un rendimiento de aproximadamente 1 400 toneladas por día en la producción del molino de cemento. El peso máximo a manejar según estos resultados es de 182 toneladas al día de residuos pétreos de la construcción correspondiente al experimento No. 16, lo que significa en 24 días de funcionamiento del molino de cemento al mes, la cantidad de 4 550 toneladas.

Por otra parte es necesario considerar que el mayor porcentaje de las muestras se encuentran con valores de actividad puzolánica por el orden del 78-80%, y de acuerdo a las pruebas realizadas, se estaría concretando dosificaciones entre el 6,5 y el 10%, lo cual equivale entre 91 y 140 toneladas por día, es decir, 2 184 y 3 360 toneladas por mes.

6.3 Costos por manejo, tratamiento y disposición de residuos

Como se había ilustrado en el Cuadro No.7 del capítulo 4 de esta investigación, en los movimientos ocasionados entre el 22 de mayo y el 22 de junio del 2012, se tiene depósitos en la escombrera Municipal de la Ciudad de Azogues por el orden de 483 m³ a un costo por transporte de 0,4 USD por m³, sin embargo, es necesario considerar que estos podrían incrementarse cuando se trate de un transporte particular a valores por el orden de 0,8 USD e inclusive 1,00 USD por cada m³ de acuerdo a lo que se dialogado con personas que poseen vehículos de carga en esta Ciudad.

Para el tratamiento y disposición de residuos pétreos de la construcción que serán utilizados en el proceso de molienda de cemento es importante considerar el escenario en el que la Compañía Industrias Guapán tendría en primera instancia que retirar el material de la escombrera en base a un convenio con la Municipalidad de Azogues, para lo cual dispone de equipos de carguío y transporte a saber: 3 Cargadoras frontales de ruedas, 2 excavadora de orugas, con una capacidad de carga de 5 toneladas por minuto en los dos casos, equipo caminero conformado por 5 volquetes de volteo directo con una capacidad de carga de 20 toneladas métricas.

En función de esta disponibilidad y sabiendo que los 483 m³ de material de residuos con una densidad aparente de 1,35 ton/ m³ equivalen a 652 toneladas, se podría realizar la carga con una cargadora frontal y dos volquetes en una jornada de 16 horas debido a que la distancia a la compañía abarcaría un tiempo de una hora de transporte por cada unidad, considerando la descarga en el sitio destinado en la planta

de producción. En tal virtud, se detallan los costos por carguío y transporte en el siguiente cuadro:

Tabla N° 24

Detalle del costo hora/maquina

EQUIPO	MANO DE OBRA	DEPRECIACION	SEGURO	COMBUSTIBLES	MAN TTO.	COSTO HORA
EXCAVADORA 320L	15,88	6,01	1,47	10,52	22,47	56,36
RODILLO	15,88	4,09	0,68	6,58	10,34	37,57
VOLQUETE	15,88	2,18	0,95	2,28	18,37	39,66
VOLQUETE(personal contratado)	4,70	2,18	0,95	2,28	18,37	28,48

Costo hora /hombre promedio

Operador Equipo Pesado	15,88
Chofer (contratado)	4,70

Fuente: Compañía Industrias Guapan S.A. Sección Contabilidad de Costos

Considerando la capacidad de carga, horas de operación, costo de mano de obra y costo por el material en el sitio de la escombrera, el resumen de costo por disponer del material en la planta de Compañía Industrias Guapán, sería:

- Costo por tonelada de material puesto en la escombrera : 1,00 USD
- Cantidad a cargar por hora de operación de maquinaria pesada: 40 toneladas
- Cantidad a cargar por 16 horas de maquinaria pesada : 640 toneladas
- Costo de operación por hora de maquinaria pesada Cargadora: 56,36 USD
- Costo de operación por hora de volqueta personal contratado: 28,48 USD

- Costo por mano de obra de operador de maquinaria pesada: 15,88 USD
- Costo por mano de obra de Chofer contratado de volqueta: 4,70 USD

Costo por tonelada adquirida, cargada y transportada a planta:

• 16 HORAS x 56.36	=	901,76 USD
• 16 Horas x 28.48 x2 volquetas	=	911,36 USD
• 16 Horas x 15.88	=	254,08 USD
• 16 Horas x 4,70	=	75,2 USD
• Subtotal	=	2 142,22 USD
• 640 ton x 1,00	=	640 USD
TOTAL	=	2 782,22 USD

Costo por tonelada = $2\,782,22/640 = 4,34$ USD

Para separar componentes extraños del material transportado en planta, la compañía dispondrá de dos trabajadores ocasionales por 16 horas cada uno, considerando el costo por mano de obra de 4,70 USD, correspondería a un incremento adicional de 150,4 USD; es decir, 0,235 USD por tonelada, dando un costo final de **4,575 USD**

6.3.1 Área para recepción del material en la planta de Industrias Guapán S.A

En la planta de producción de Compañía Industrias Guapán, se dispone de espacios en los que se depositan diferentes materias primas como calizas, arcillas, puzolana, yeso, etc, desde donde son alimentados a las áreas de producción dependiendo del tipo de uso a través de la maquinaria de carga y equipo de transporte pesado.

En lo que respecta a la puzolana, es almacenada en el hall No 2 en el espacio en donde es transportada hacia las tolvas de alimentación al molino de cemento a través de un puente grúa y también es almacenada en un hall construido para este propósito junto al triturador secundario con una capacidad de almacenamiento en los dos casos

de aproximadamente 5 000 toneladas. En estos casos, el almacenamiento se realiza bajo cubierta por efectos de que el material es altamente higroscópico y causa problemas en el proceso de molienda de cemento por efectos de la humedad.

Para el caso de los materiales pétreos de la construcción, de acuerdo a su composición físico-química, si bien es cierto sería óptimo almacenar bajo cubierta, esto no se constituye en indispensable puesto que podría ser almacenado en los espacios con los que cuenta la compañía a cielo abierto o en su defecto en una de las tolvas que se están poniendo operativas para materiales alternativos con una capacidad de 200 toneladas métricas.

Por el momento, en función del movimiento que se ocasiona en la Ciudad de Azogues, el abastecimiento mensual no sería mayor a las 1 000 toneladas métricas, las cuales podrían ser abastecidas con facilidad hacia la planta de producción de cemento para ser almacenada en la forma en la que se describió o directamente utilizada a través de las tolvas de dosificación correspondiente.

6.3.2 Equipos de carga y transporte

Los equipos para carga y transporte de materiales y componentes con los que cuenta la Compañía Industrias Guapan son los siguientes:

TablaN° 25

Equipos para carga de materiales

Descripción	Descripción -fabricante-	Marca	Año fab.	Modelo
Caterpillar 320L Excavadora	Excavadora	CATERPILLAR	1995	320L
Caterpillar 428B Retroexcavadora	Retroexcavadora	CATERPILLAR	1996	428B
Caterpillar D8N Tractor	Tractor	CATERPILLAR	1996	D8N
Caterpillar 966F Cargadora frontal	Cargadora Frontal	CATERPILLAR	1996	996F
Caterpillar D8R Tractor	Tractor	CATERPILLAR	1999	D8R
Caterpillar 322CL Excavadora	Excavadora 322 CL	CATERPILLAR	2006	x322
Caterpillar 330CL Excavadora	Excavadora 330 CL	CATERPILLAR	2003	0330CT
Caterpillar DR2 Tractor	Tractor	CATERPILLAR	2005	D8R II
Caterpillar 330C LME Excavadora	Excavadora 330 CL	CATERPILLAR	2005	330CL/ME
Caterpillar 330CL Excavadora	Excavadora 330 CL	CATERPILLAR	2005	330CL
Caterpillar 330CL Excavadora	Excavadora 330 CL	CATERPILLAR	2006	330C
Caterpillar D6N Tractor	Tractor	CATERPILLAR	2006	D6N XL
Caterpillar 966H Cargadora frontal	Cargadora Frontal de ruedas	CATERPILLAR	2007	966H
Caterpillar 330DL Excavadora	Excavadora 330DL	CATERPILLAR	2008	330DL
Caterpillar 330D Excavadora	Excavadora 330D	CATERPILLAR	2009	330DL
Caterpillar 966H Cargadora frontal	Cargadora Frontal de ruedas	CATERPILLAR	2009	966H
Caterpillar 962H Cargadora frontal	Cargadora Frontal de ruedas	CATERPILLAR	2009	966H
Caterpillar D6TXL Tractor	Tractor de orugas	CATERPILLAR	2010	D6T XL

Fuente: Archivo SisMAC, Departamento de Mantenimiento
Automotriz

SisMAC. Sistema de mantenimiento asistido por
computadora

Tabla N° 26
Equipo para transporte de materiales

DESCRIPCION	DESCRIPCION FABRICANTE	MARCA	AÑO	MODELO
MACK I RD6885 Volquete UBM-675	Volquete	MACK	1995	RD6885
MACK II RD6885 Volquete UBM-669	Volquete	MACK	1995	RD6885
Tandem Cama Baja (3 ejes)	CAMA BAJA	E.Q METAL	1983	C/B
Tandem Cama Baja (2 ejes)	CAMA BAJA	TRANSPORTE COELLO	1985	
Tandem remolque	REMOLQUE	REMPOZ	1984	366LAK II
Caterpillar 226B Minicargadora	Minicargadora	CATERPILLAR	2005	226B
CAMION MACK (Tanquero) UBP-585	Camión	MACK	1998	MS300P
MACK Granito Volquete rojo UBX-020	Volquete	MACK	2005	CV713
Tractocamión MACK AFT-319	Tractocamión	MACK	2006	NOCV713
MACK Granito Volquete UBW-547	Volquete	MACK	2003	CV713
MACK Granito Volquete UBW-549	Volquete	MACK	2003	CV713
MACK Granito Volquete UBW-546	Volquete	MACK	2003	CV713
MACK Granito Volquete UBW-539	Volquete	MACK	2004	CV713
MACK Granito Volquete UBW-538	Volquete	MACK	2004	CV713
MACK Granito Volquete UBW-540	Volquete	MACK	2004	CV713
MACK Granito Volquete UBW-550	Volquete	MACK	2004	CV713
MACK Granito Volquete UBW-548	Volquete	MACK	2004	CV713
MACK Granito Volquete UBW-545	Volquete	MACK	2004	CV713
Tractocamión MACK Visión	Tractocamión	MACK	2004	CXN613
Tractocamión MACK Visión	Tractocamión	MACK	2004	CXN613
Tractocamión MACK Visión	Tractocamión	MACK	2004	CXN613
Tractocamión MACK Visión	Tractocamión	MACK	2005	CXN613
MACK Granito Volquete	Volquete	MACK	2006	CV713
MACK Granito Volquete	Volquete	MACK	2006	CV713
HINO GD (Carro Taller) UBX-145	Camión Chasis Largo	HINO	2006	GDIJLU
MACK Granito Volquete UBX-240	Volquete	MACK	2006	CV713
MACK Granito Volquete UBX-241	Volquete	MACK	2006	CV713
Cama baja amarilla	CAMA BAJA	LANZ MARTJ	1980	PL25
Remolque blanco	REMOLQUE	ESMETAL	2006	PL26

Fuente: Archivo SisMAC, Departamento de Mantenimiento Automotriz

Con la utilización de estos equipos, se movilizan los diferentes materiales que son utilizados en las áreas del proceso de producción, los cuales están siendo operados tanto por personal estable así como ocasional de la Compañía quienes han recibido la respectiva capacitación. El abastecimiento de combustible se lo realiza al interior de la planta a través de un vehículo tanquero con capacidad de carga de 300 galones, los cuales son cargados directamente de los tanques en el área aledaña a la central eléctrica.

6.3.3 Mano de obra

En este capítulo en lo que respecta a la mano de obra, se hace referencia a aquella involucrada directamente en los procesos de carga y transporte de material pétreo de la construcción, así como del personal utilizado en la separación de materiales extraños que pudieran ocasionar daño a los equipos y maquinarias en el proceso de molienda de cemento. Por otra parte, es necesario citar la disponibilidad de mano de obra en cuanto a la operación y supervisión del proceso de molienda de cemento, que involucra a personal de panel central, supervisores de proceso y operadores del área.

En este rol, se considera al siguiente personal:

- Operador de maquinaria pesada, personal estable de la Compañía
- Chofer de Volqueta, personal ocasional de la Compañía
- Operador del área de molienda de cemento, personal ocasional y estable de la compañía
- Supervisor de procesos, personal ocasional y estable de la compañía
- Personal de servicios generales de producción, personal ocasional de la compañía.
- Operadores de panel central de control, personal ocasional y estable de la compañía.

6.4 Incidencia económica en el proceso de molienda de cemento por el uso de Estos residuos.

En la planta de producción de Compañía Industrias Guapan S.A, uno de los mayores costos está relacionado con el manejo de las materias primas, considerando sobre todo las distancias de las fuentes de abastecimiento de calizas, yeso y puzolana, lo cual de cierta manera tiene una incidencia bastante grande en el producto final. En tal razón, cualesquier ahorro por el manejo de estos materiales constituye un aporte significativo a la rentabilidad de la Compañía y más aún si de alguna manera como es el caso de esta investigación existe la posibilidad de lograr una sustitución con materiales alternativos cuya composición y propiedades lo justifican.

A sabiendas que en el caso de que se logre sustituir en primera instancia al material puzolánico, se tomará en consideración la diferencia significativa de costos y la disponibilidad para mantener una secuencia permanente en la dosificación, de tal manera que tanto el proceso así como los resultados del producto final sean de conveniencia para la Compañía en cuanto a la calidad y rendimiento.

Para el presente análisis se toma en consideración las dosificaciones que están siendo utilizadas en el proceso de molienda de cemento en cuanto a materiales como clinker, yeso y puzolana. Por otra parte, se analiza la dosificación con la sustitución de la puzolana por material pétreo de la construcción tomando como base los resultados obtenidos en laboratorio y la disponibilidad de éste.

La incidencia económica de esta aplicación se lo realiza por tonelada de cemento producido en los casos correspondientes con la utilización de los costos actualizados de los materiales.

6.5 Análisis comparativo entre el producto con y sin adiciones de materiales

Alternativos.

Para el efecto de este análisis, se toma en consideración los costos actualizados de los materiales contemplados en el capítulo 2 de esta presente investigación, con la única modificación del costo del yeso, que al mes de septiembre del 2012 se maneja el valor de 46,00 USD por tonelada métrica.

Costo del material a la entrada al molino de cemento:

- Tonelada de clinker producido: 77, 00 USD
- Tonelada de yeso: 46,00USD
- Tonelada de puzolana: 16,99 USD
- Tonelada de clinker comprado: 102,34 USD

Tabla N° 27

Costos unitarios de materia prima y dosificaciones a ser utilizadas en el proceso de molienda de cemento en Compañía Industrias Guapan S.A

	CLINKER	YESO	PUZOLANA	M.PETREO	
COSTO DE MATERIAL(USD/ton)	77	46	16,99	4,7	
* precio por clinker comprado	102,34				
	CLINKER	YESO	PUZOLANA	M.PETREO	COSTO/TON
	%	%	%	%	
DOSIFICACION ACTUAL	71,5	3,5	25		65,442025
DOSIFICACION CON SUSTITUCION	71,5	3,5	20	5	64,827525
DOSIFICACION CON SUSTITUCION	71,5	3,5	22	3	65,073325

Fuente: Departamento de Producción de Compañía Industrias Guapan S.A (2012)

La dosificación en cuanto a clinker es: 25% de material comprado + 75% de material producido

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Costo por tonelada de cemento} = (0,715*0,25*102,34+0,715*0,75*77)+(0,035*46)+(0,25*16,99)$$

Con dosificación actual.

$$\text{Costo por tonelada de cemento} = (0,715*0,25*102,34+0,715*0,75*77)+ (0,035*46)+(0,2*16,99)+ (0,05*4,7) \quad \text{Sustitución del 5 \% .}$$

$$\text{Costo por tonelada de cemento} = (0,715*0,25*102,34+0,715*0,75*77)+(0,035*46)+(0,22*16,99)+(0,03*4,7) \quad \text{Sustitución del 3\%}$$

De acuerdo a lo que se puede observar en el cuadro, al sustituir el 3% de puzolana por residuo pétreo de la construcción se tiene una diferencia de costos por tonelada de 0,3687 USD con relación a la dosificación actual. Con la sustitución del 5% se tiene un ahorro por tonelada de cemento producido en 0.615 USD.

Tomando en consideración que la producción del molino de cemento es de 1400 toneladas por día, tenemos que el ahorro en las sustituciones del 3 y 5% de puzolana por residuo pétreo de la construcción es del orden de: 516 USD y 860,3 USD respectivamente por día, que resulta de multiplicar: 0,3687 USD *1400 y 0,615 USD *1 400

6.6 Conclusiones

En el desarrollo de este capítulo se ha podido observar y determinar la factibilidad de uso de los residuos pétreos de la construcción en el proceso de molienda de cemento, toda vez que los resultados obtenidos en el laboratorio de control de calidad han sido satisfactorios en la medida en que han aportado datos significativos en el objetivo principal de la presente investigación.

Por otro lado, es importante citar que si bien es cierto la compañía dispone de equipo de carga y transporte, con el resultado económico descrito en el cálculo del costo de material puesto en planta, éste podría optimizarse en conveniencia bien sea con la Municipalidad de Azogues o en su defecto con personal o empresas de transporte particular como se lo viene haciendo con otros materiales como es el caso de la puzolana.

El resultado sobre la incidencia económica en el proceso de molienda de cemento por el uso de los residuos pétreos de la construcción, ha sido detallado considerando la disponibilidad actual de estos materiales en el sitio de la escombrera Municipal, lo cual se constituye en una base para en un futuro trabajar mancomunadamente entre las partes a fin de lograr por un lado una racionalización en el manejo de estos materiales y por otro lado, contar con la disponibilidad permanente para el proceso de producción

CAPITULO 7:

ANÁLISIS DE RIESGOS E IMPACTOS

7.1 Objetivos

- En el presente capítulo se analiza cómo el proyecto pretende contribuir al desarrollo sostenible en base al empleo de materiales alternativos en el proceso de molienda de cemento como es el caso de los residuos pétreos de la construcción, puesto que implica un ahorro de materiales tradicionales como la puzolana y el clinker, recursos naturales no renovables reduciendo de manera indirecta, la correspondiente emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.
- Se persigue además contribuir a la gestión de residuos mediante la valorización físico-química para el uso correspondiente en el proceso de molienda de cemento y la diversificación de fuentes alternativas que son factores claves para la competitividad de las empresas cementeras.

7.2 Riesgo técnico y tecnológico

El uso de materiales alternativos en la industria cementera sin duda alguna está ligado a la composición química que estos puedan tener en tanto y en cuanto van a sustituir a materiales tradicionales conocidos y, por lo tanto requieren de análisis minuciosos a fin de poder determinar su inclusión o no en el proceso de molienda de cemento.

Siendo que los residuos pétreos de la construcción contengan en su composición físico-química componentes que favorezcan el uso en el proceso productivo, habría

que evitar materiales contaminantes como el caso de residuos metálicos, vidrios, maderas, etc., que pudieran ocasionar daños en las bandas transportadoras que son de caucho-lona, las cuales pueden sufrir averías en su estructura las mismas que podrían ocasionar paradas en el sistema con la consecuente disminución en el rendimiento del sistema.

La disponibilidad de tolvas dosificadoras exclusivas para estos materiales es también motivo de análisis debido a que permitirán un control adecuado en el uso de éstos, constituyéndose en un factor importante en la homogeneidad del producto resultante. La ausencia de estas obligará a que la compañía disponga de mayor tiempo en el uso de equipos en la mezcla de estos materiales con la puzolana directamente en los halls y a la vez sería necesario un control más permanente de las características de calidad del producto.

Por otro lado, es necesario contar con una disponibilidad permanente de estos materiales en los sitios de acopio como es el caso de la escombrera, lo cual permitirá un manejo continuo en el proceso de molienda de cemento dando lugar a la consecución de los objetivos planteados con relación a uso de éstos. La ausencia o falta de disponibilidad de los mismos, obligará a tomar medidas pertinentes como el de reducción en los porcentajes de uso e inclusive la no inclusión en el proceso, con la consecuente disminución en la rentabilidad pretendida de la organización en este sentido.

7.3 Riesgo económico

Los porcentajes de uso de los residuos pétreos de la construcción en el proceso de molienda de cemento como sustitutos de los materiales tradicionales, obedecen a las características de calidad probadas en el laboratorio tanto en la parte física así como en la parte química, las cuales se traducen en la capacidad para ser usados como tales.

Por lo tanto, existe un riesgo económico cuando los materiales que son abastecidos desde los sitios de acopio, no posean dentro de su composición, los elementos necesarios que los hagan útiles en el proceso de molienda de cemento; esto es, niveles de actividad puzolánica por debajo del 70%. Para evitar trasladar estos materiales, la compañía deberá disponer de tiempo y personal para la toma de las muestras en los centros de acopio, a fin de determinar en base a los análisis de laboratorio su aptitud para el uso.

Riesgo económico por incremento en los costos de carga, manejo y transporte de materiales hacia la planta. Tomando en consideración los costos establecidos en el numeral 6.3 del capítulo 6 y las nuevas disposiciones del Ministerio de transporte en cuanto a control y regulación de pesos y medidas en las carreteras del País, se tiene el siguiente análisis sobre el incremento que se daría por efecto de la carga y transporte de material a la planta:

- Costo por tonelada de material puesto en la escombrera : 1,00 USD
- Cantidad a cargar por hora de operación de maquinaria pesada: 40 toneladas
- Cantidad a cargar por 16 horas de maquinaria pesada : 640 toneladas
- Costo de operación por hora de maquinaria pesada Cargadora: 56,36 USD
- Costo de operación por hora de volqueta personal contratado: 28,48 USD
- Costo por mano de obra de operador de maquinaria pesada: 15,88 USD
- Costo por mano de obra de Chofer contratado de volqueta: 4,70 USD

Costo por tonelada adquirida, cargada y transportada a planta:

Considerando que de acuerdo a las nuevas disposiciones Ministeriales los vehículos de la compañía que transportaban 20 toneladas, están obligados a hacerlo únicamente con 13 a 15 toneladas, se necesita de 8 horas adicionales de tiempo en carga, manejo y transporte del material hacia la planta, con el consiguiente manejo económico:

- 24Horas x 56,36 = 1 352,64 USD

• 24 Horas x 28,48 x2 volquetas	=	1 367,04 USD
• 24 Horas x 15,88	=	381,12 USD
• 24 Horas x 4,70	=	112,8 USD
• Subtotal	=	321,6 USD
• 640 ton x 1,00	=	640 USD
 TOTAL	 =	 3 853,6 USD

Costo por tonelada = $3\,853,6/640 = 6,02$ USD

Costo por separación de materiales extraños = 0,235 USD /ton

Costo final por tonelada = 6,256

Por lo tanto, se tiene un incremento del 33% en el precio del material, calculado de acuerdo a:

Incremento = $(6,256-4,7)/4,7*100$.

Dónde: 4,7 es el costo del material inicial

Este incremento, llevado al proceso de molienda de cemento de acuerdo a las dosificaciones ilustradas en el numeral 6.5 del capítulo 6, tiene una incidencia en el costo final del producto de acuerdo a la siguiente información:

Tabla N° 28

Información de costos de producción con el incremento en el precio del material
residuo pétreo de la construcción

	CLINKER	YESO	PUZOLANA	M.PETREO	
COSTO DE MATERIAL(USD/ton)	77	46	16,99	6,256	
* precio por clinker comprado	102,34				
	CLINKER	YESO	PUZOLANA	M.PETREO	COSTO/TON
	%	%	%	%	
DOSIFICACION ACTUAL	71,5	3,5	25		65,442025
DOSIFICACION CON SUSTITUCION	71,5	3,5	20	5	64,91
DOSIFICACION CON SUSTITUCION	71,5	3,5	22	3	65,12

Fuente: Departamento de Producción de Compañía Industrias Guapan S.A (2012)

La dosificación en cuanto a clinker es: 25% de material comprado + 75% de material producido

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

Costo por tonelada de cemento = $(0,715*0,25*102,34+0,715*0,75*77)+(0,035*46)+(0,25*16,99)$

Con dosificación actual.

Costo por tonelada de cemento = $(0,715*0,25*102,34+0,715*0,75*77)+(0,035*46)+(0,2*16,99)+(0,05*6,256)$

Sustitución del 5 %.

Costo por tonelada de cemento = $(0,715*0,25*102,34+0,715*0,75*77)+(0,035*46)+(0,22*16,99)+(0,03*6,256)$

Sustitución del 3%

Comparando los resultados de estos costos con los de producción por tonelada de cemento calculados en el capítulo 6, se tienen los siguientes incrementos para las dosificaciones de 3 y 5% de residuos pétreos de la construcción:

Incremento = $(65,12-65,07) = 0,05$ USD por tonelada de cemento, dosificación del 3%, es decir, 70, 00 USD diarios menos en la rentabilidad diaria, considerando una producción de 1400 toneladas.

Incremento = $(64,91-64,82) = 0,09$ USD por tonelada de cemento, dosificación del 5%, es decir, 126, 00 USD diarios menos en la rentabilidad diaria, considerando una producción de 1 400 toneladas.

Por otra parte, es importante considerar que la Compañía Industrias Guapan S.A, mantiene un pago mensual al Municipio de Azogues por concepto de la tasa de recolección de basura equivalente al 12% de la factura por consumo de energía eléctrica, por lo que no habría gravamen alguno adicional al costo del material considerado en el sitio de la escombrera.

7.4 Impacto ambiental

Calidad del Aire

El proyecto demandará el uso de maquinaria pesada, y la extracción y manejo de material pétreo de la construcción , esperándose emisiones de polvo debidas al paso de camiones de carga por vías no pavimentadas en las áreas de las escombreras municipales, así como también, debidas al manejo de agregados en las áreas de construcción. A continuación se evalúa el impacto ambiental asociado a aquellas actividades que generan alteraciones significativas en la calidad del aire en determinados sitios del área de estudio.

Transporte de Insumos, Maquinaria, Materiales de Construcción, y Escombros

Las actividades de transporte de materiales y equipos, determinarán una movilización importante de vehículos de carga, que transitarán por las vías actuales de la zona.

El polvo de vías será generado especialmente en vías lastradas, donde se producirán emisiones de partículas que ocasionarán alteraciones en los parámetros de calidad del aire. Esto en especial para el transporte de escombros. Aparte del polvo generado por el contacto físico de las ruedas de camiones con la superficie de las vías, se tendrá el vertido de partículas provenientes del material transportado.

Así, el impacto por emisiones de polvo se concentrará en la superficie de las vías no pavimentadas, así como en sus extremos, internándose lateralmente en una distancia variable, probablemente hasta 100 metros de distancia con respecto al eje de cada vía. En consideración al volumen de tráfico esperado, se anticipa también que se produzca afectación hacia el entorno debido a la emisión de gases de combustión, provenientes del tubo de escape de los vehículos de carga a ser empleados en actividades de transporte.

El tráfico consistirá de camiones de transporte de materiales, retroexcavadoras, entre otros. Las vías en las que se dará con mayor significancia el impacto a la calidad del aire (por emisiones de polvo y gases de combustión), son las siguientes:

- Vía de Acceso a la escombrera
- Vías internas de la Compañía

Eventualmente, se tendrá además tráfico en la principal vía pavimentada de la zona, esta es la Vía Panamericana Norte, la cual podrá verse afectada por emisiones de gases de combustión, y en menor grado por el vertido de partículas de polvo procedentes de los compartimientos de carga de los camiones a ser empleados; durante el trayecto, el material que es transportado se encuentra expuesto a su vertido

hacia el entorno, sea por la acción del viento o por el movimiento mismo de los vehículos de carga.

Movimiento, Explotación de Materiales de escombros

Las actividades de la escombrera generarán un impacto significativo sobre su entorno inmediato. El impacto esperado es la generación de polvo y en consecuencia un incremento en las concentraciones de partículas en el aire ambiente. Se identifican como fuentes generadoras de polvo: la remoción de los escombros depositados en la escombrera, la labores de carguío, esto además de la movilización interna de vehículos.

La afectación puede considerarse significativa en receptores localizados dentro de un radio de 500 m con respecto a la escombrera, aunque se espera que los efectos más severos ocurran en el rango de 100 m. En los sitios de disposición, se empleará por un lado transporte de carga, que arribará a cada escombrera y verterá su contenido, produciendo emisiones de polvo.

Por otra parte, en cada sitio se mantendrá operativa maquinaria pesada (cargadora frontal, retroexcavadoras, etc.), que cumplirá la función de acomodar/amoldar el material de escombros, a la topografía del terreno, de tal manera que se evite la desestabilización de taludes, o la erosión no controlada del material por la presencia de las lluvias en la zona. El impacto ambiental a la calidad del aire por la disposición de escombros, se considera medianamente significativo, esto en vista de que la escombrera está localizada en las inmediaciones de un centro poblado.

Cabe anotar el impacto positivo que se producirá por el hecho de que al retirar este material de las escombreras, se disminuirá la contaminación del suelo con componentes ajenos a su conformación natural, reduciendo inclusive la contaminación hacia los ríos por agua de escurrimiento y afectación al paisaje natural del sitio.

También es importante anotar que siendo de interés industrial el uso de estos materiales, con el pasar del tiempo, se irá incrementando la disponibilidad, lo que permitirá sin lugar a dudas alargar la vida útil de la escombrera.

Generación de Ruido

Transporte de escombros

La movilización de vehículos operados con motores de combustión interna, a través de tramos de gran longitud en el área de estudio, implica la generación de emisiones de ruido hacia el entorno, cuyo grado de afectación estará determinado por la potencia mecánica de los camiones a ser empleados, así como por su estado de mantenimiento mecánico.

El ruido proveniente de vehículos será de tipo fluctuante para receptores localizados en posiciones fijas, y se dará con una frecuencia importante, esto tomando en consideración que las emisiones de ruido se producirán tanto en la movilización de materiales provenientes de construcción, como en el transporte de escombros hacia la planta de tratamiento. Con el desalojo de material en escombreras, se espera la generación de ruido localizado en los sitios de disposición. Las escombreras requerirán del uso de maquinaria pesada, tales como:

- Cargadores frontales, con niveles de ruido en el orden de 72 a 83 dBA a 15 m de distancia.
- Camiones, con niveles de ruido en el orden de 88 a 89 dBA a 15 m de distancia.

El impacto ambiental se considera como medianamente significativo, esto en vista de la frecuencia con que se producirá el mismo, estos niveles de ruido descritos se darían a nivel de receptores localizados a 15 m de distancia. La principal afectación se daría en aquellos sitios localizados cerca de áreas pobladas, como es el caso de aquellos que se encuentran juntos a la Vía San Miguel- Azogues. Por existir la posibilidad de

excederse los límites máximos permisibles, el impacto se considera negativo y medianamente significativo.

Calidad del agua Sistema Hídrico

Desalojo y transporte de Materiales en Escombreras

La habilitación de escombreras tendrá un impacto, esto en vista de que se colocará material pétreo en grandes superficies que estarán expuestas a la acción erosiva de las aguas lluvias. Por tanto, se espera la generación de aguas de escorrentía cargadas con partículas sólidas en suspensión, las cuales tienen el potencial de afectar la calidad de aguas de cuerpos hídricos cercanos, ocasionando un incremento en los niveles de turbiedad, por la adición de sólidos.

De manera similar, la colocación de material ajeno a un determinado sitio, producirá una alteración en los patrones naturales de drenaje, esto por cuanto se cubrirán grandes áreas con materiales estériles, pudiendo ocasionar el desvío del cauce de las aguas de escorrentía, con posibles inundaciones en algunas áreas.

Debido a que se prevé la reutilización de materiales de escombros, se espera que en cierta medida se vean reducidas las cantidades de materiales a ser dispuestos en la escombrera. Por ende, el impacto ambiental a ser inducido, se considerará como medianamente significativo.

7.5 Impacto social

Cualesquier actividad que genere ingresos económicos sean estas dentro del sector público o privado, sin duda alguna provoca cambios en la sociedad. El impacto social del proyecto de investigación sobre el uso de residuos pétreos de la construcción en el proceso de fabricación de cemento, refiere de manera fundamental a la generación de empleo directo en el proceso de recolección y clasificación de materiales y el empleo

indirecto en la transportación al centro de acopio procurando generar fuentes de trabajo con las evidentes ventajas para la comunidad. Al darse lugar en el tiempo a esta alternativa de uso, la Compañía encontrará un beneficio saludable que podría traducirse en un aporte de ésta hacia la comunidad como parte de la responsabilidad con la sociedad.

7.6 Conclusiones

El presente capítulo ha permitido manejar y entender conceptos relacionados con los riesgos y beneficios del proyecto de investigación relacionado con el uso de residuos pétreos de la construcción en el proceso de molienda de cemento de la Compañía Industrias Guapan S.A

Es importante anotar los términos relacionados con el impacto ambiental que si bien es cierto se generan como parte del manejo, clasificación y transporte de los materiales tanto a los sitios de acopio así como a los de uso, este resulta ser medianamente significativo por las condiciones establecidas.

Por otra parte es fundamental tomar en consideración y destacar el nivel del beneficio social que puede generar este proyecto en la comunidad. En la parte económica se considera un beneficio para todas aquellas partes involucradas en los diferentes aspectos relacionados con el proyecto.

CONCLUSIONES.

- En la actualidad, en las plantas cementeras a nivel mundial y en base a la tecnología, se cuenta con la posibilidad de realizar estudios experimentales con el uso de diversos y variados materiales en el proceso de fabricación de cemento.
- Dentro de estos materiales están las arcillas, puzolanas, cenizas volantes, productos de desecho del proceso de fabricación, etc, de las cuales y a través de los métodos de análisis de laboratorio como la fluorescencia y difracción de rayos x se pueden determinar características físicas y químicas que posibilitan ser utilizados como materiales sustitutivos en la fabricación de cemento.
- En la presente investigación se ha podido realizar primeramente un análisis de las características físicas y químicas así como de la disponibilidad de los residuos pétreos de la construcción que se generan en la Ciudad de Azogues y que son depositados en la escombrera municipal.
- Los resultados obtenidos en las pruebas iniciales sobre estas muestras, permitieron continuar con el trabajo de investigación basándose en las características específicas de los materiales que resultaron ser potenciales sustitutivos en la etapa de molienda de cemento.
- A lo largo de la presente investigación, se ha podido observar que el disponer de una herramienta útil como el diseño experimental, permite realizar las actividades de investigación al interior de los procesos industriales de una manera planificada y sistemática, obteniéndose respuestas que satisfacen las expectativas del conocimiento en materia de investigación.

- Los resultados sobre las características de calidad obtenidos de las pruebas con dosificaciones de residuos pétreos satisfacen tanto los requisitos obligatorios así como los opcionales contemplados en la Norma INEN 490 para cemento portland puzolánico tipo IP que se fabrica en Compañía Industrias Guapán S.A.
- La ubicación geográfica de la planta de producción de cemento de Compañía Industrias Guapán S.A, y la falta de potenciales reservas mineras de calizas cercanas a la Compañía, hacen que exista un gran interés en realizar estudios de investigación sobre materiales alternativos que se encuentran presentes en áreas circundantes a ésta, aportando de esta manera a la rentabilidad de la organización
- Preservar y cuidar el medio ambiente está dentro de las políticas de la Compañía no solamente del área en la que se encuentra instalada su planta industrial sino también en aquellas en las que desarrolla de alguna manera su actividad productiva, tal es el caso como el planteado en esta investigación el de aportar significativamente a las expectativas que se ha propuesto el Gobierno Municipal Descentralizado de la Ciudad de Azogues y la comunidad en las que se encuentra asentada la escombrera Municipal.
- El análisis económico realizado en la presente investigación, se desarrolló en base a la información proporcionada por el personal de las dos instituciones, la cual sin embargo, y a través del tiempo puede ser sujeta de cambio, sin que esto modifique sustancialmente el fin que motivó llevar adelante todas y cada una de las actividades puesto que éstas tienen un sustento técnico basado en la disponibilidad tecnológica que permitirá planificar, hacer, verificar y actuar en función de la real necesidad de la Compañía y la Sociedad.

RECOMENDACIONES.

- Contando con la disponibilidad tecnológica tanto en el laboratorio de control de calidad así como en la planta de producción de cemento, es importante continuar con trabajos de investigación de materiales que pudieran ser alternativos no solamente en la etapa de molienda de cemento sino también en las etapas iniciales del proceso productivo
- Es importante mantener la relación Universidad-Empresa a fin de que el aporte científico que aquella pueda brindar a través de sus Estudiantes sea un aporte significativo en el desarrollo de este tipo de actividades en beneficio de los sectores vinculados a la Sociedad.
- Propender a que las actividades que desarrolla el Gobierno Municipal no solamente en la Ciudad de Azogues sino en todo el País en materia de cuidado y preservación del medio ambiente puedan considerar el uso o el reciclaje de ciertos materiales a nivel del sector industrial.
- Poder canalizar de alguna manera a través de este organismo, a que las labores de selección y clasificación de residuos pétreos de la construcción se constituya en una actividad de conciencia y responsabilidad social, toda vez que el crecimiento poblacional así lo demanda, lo cual sin duda alguna repercutirá en la consecución de un ambiente favorable en el que las futuras generaciones puedan desarrollar sus actividades en el marco del buen vivir.

BIBLIOGRAFIA

Referencias Electrónicas

- Datos Informativos de la Compañía Industrias Guapan S.A
<http://www.industriasguapan.com.ec/contenido.aspx?IdTexto=1&Tipo=3#> (consulta 18-07-2012; 10:00)

Referencias Bibliográficas

- GERACAO, SUSTENTAVEL, revista do desenvolvimento sustentavel corporativo, reciclaje en la industria de la construcción civil,2010
- VOTORANTUM, CIMENTOS, coprocesamento seus resiuos industrias tem un destino certo,2010
- KAREN SCURVENER, Cement and concrete research, volumen 41, julio 2011, Editorial ELSEVIER, 13 th congreso internacional sobre química del cemen, Madrid Julio 2011.
- CEMA, Fundation, Fundación Laboral del cemento y el medio ambiente, revista técnica , mayo/junio 2011, No. 944
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 151:2010, Tercera Revisión, 2010 – 01. (30/04/2012,12:04)
- BRUKER, AXS GmbH, Diffarac. Measurement suite XRD Wizard, reference manual, 2009

- BRUKER, AXS GmbH, D2 phaser, user manual, DOC – M88-EXX192 V1-08.2009
- BRUKER, AXS GmbH, S8 tiger, operator's manual, DOC-M84-EXX01 V6-07.2009
- BRUKER, AXS GmbH, introduction to x-ray, fluorescence analysis, user manual, DOC M88-EXX143 V2-07.2004
- BURKHARD, Beckhoff, KANNGIEßER, Birgit, LANGHOFF, Norbert, WEDELL, Reiner, WOLFF, Helmut, Handbook of Practical X-ray Fluorescence Analysis, Editorial Springer ,2006

ANEXOS**ANEXO 1****PROCEDIMIENTOS E INSTRUCCIONES DEL MANUAL DE CALIDAD DE
COMPAÑÍA INDUSTRIAS GUAPAN S.A**

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	<i>REVISION: 03</i>
	Instructivo para Determinación de la Humedad	CODIGO: I.CK-7.1-02 PAGINA: 121/2 FECHA: 2006-10-25

1. Propósito:

Esta instrucción tiene como propósito la determinación de la humedad higroscópica en las diferentes muestras a analizar.

2. Alcance:

Muestras de caliza, materiales arcillosos, crudo, puzolana, yeso, cemento.

3. Definiciones:

- **Humedad Higroscópica:** Se denomina humedad higroscópica a la cantidad de agua absorbida en una muestra, expresada en porcentaje de su peso, hasta los 105 °C.
- **Copelas Taradas:** Recipiente utilizado para contener la muestra en la que se realiza el ensayo de la determinación de la humedad y que se encuentra determinado su peso.

4. Responsabilidades:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Muestrero y/o Inspector.

5. Equipo necesario:

- Copelas Taradas
- Estufa
- Reloj
- Plancha térmica
- Balanza

6. Instrucciones:

6.1. Determinación de la humedad en una muestra de caliza, materiales arcillosos, crudo, puzolana y cemento.

6.1.1. Se pesa 50.0001 +/- 0.0001g de muestra en una copela previamente tarada (po).

6.1.2. Se seca la muestra en la plancha térmica (200 °C a 300 °C) durante 15 min hasta peso constante.

6.1.3. Se enfría la muestra durante 5 min hasta peso constante.

6.1.4. Se pesa la muestra contenido en la copela (pf).

6.2. Determinación de la humedad en una muestra de yeso.

6.2.1. Se pesa 50 g de muestra triturada en una copela tarada (po).

6.2.2. Se coloca en la estufa aproximadamente a 45 °C durante 2 h.

6.2.3. Se realiza la pesada final (pf).

7. Cálculos:

Se calcula el porcentaje de agua (humedad) por diferencia de peso utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad} = \frac{(po - pf) / 50}{(po - pf) \times 2} \times 100$$

po = peso inicial
pf = peso final

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	REVISION: 03
	Instructivo para Determinación de la Fineza	CODIGO: I.CK-7.1-03 PAGINA: 124/2 FECHA : 2006-10-26

1. Propósito:

Determinar la cantidad de material que queda retenido en un tamiz.

2. Alcance:

Esta instrucción se aplica al material crudo del: molino, silos, alimentación al horno y los cementos de fabricación y expendio.

3. Definiciones:

- **Crudo:** Material calcáreo que ha pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado para continuar con el proceso.
- **Fineza:** Se denomina fineza al grado granulométrico de material tamizado.
- **Tamiz:** Clasificador de materiales por medio de una malla de abertura determinada y especificada.

4. Responsabilidades:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Inspector.

5. Equipo:

- Tamices
- Plancha térmica

- Copelas
- Balanza

6. Instrucciones:

Se detalla la instrucción para tamizado húmedo, pero se aplica igual para el tamizado seco a excepción del numeral 6.1.2 en el cual no se utiliza agua a presión y se acciona el tamizador en seco y en el 6.1.3 en el que solo se pesa.

6.1. Determinación de la fineza en el crudo, silos y alimentación al horno.

- 6.1.1.** Pesar 1.0000 +/- 0.0001 g de crudo en una copela de aluminio
- 6.1.2.** Colocar en el tamiz y tamizar (tamiz # 200 ASTM) imprimiendo un suave movimiento de rotación hasta que pase todo el material que sea posible utilizando agua a presión a 0.07 ± 0.0035 MPa por 60 s, antes de esto se humedece la muestra con una corriente suave de agua de agua penetrando 12.5 mm aproximadamente en el marco del tamiz.
- 6.1.3** Secar con una tela limpia y seca sus paredes externas y el fondo del tamiz.
- 6.1.4** Secar el retenido en una plancha térmica por 10 min y pesarlo.

6.2. Determinación de la fineza en el cemento.

- 6.2.1.** Pesar 1.0000 +/- 0.0001 g de cemento en una copela.
- 6.2.2.** Colocar en el tamiz y tamizar (tamiz # 325 ASTM) imprimiendo un suave movimiento de rotación hasta que pase todo el material que sea posible utilizando agua a presión a 0.07 ± 0.0035 MPa y 60 s antes de esto se humedece la muestra con una corriente suave de agua de agua penetrando 12.5 mm aproximadamente en el marco del tamiz.
- 6.2.3** Secar con una tela limpia y seca sus paredes externas y el fondo del tamiz.

6.2.4 Secar el retenido en una plancha térmica por 10 min y pesarlo.

7. Cálculos:

La fórmula a emplearse para las dos determinaciones (6.1 y 6.2) es:

$$\text{Fineza (\%)} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso total}} \times 100$$

Donde:

Peso retenido es la cantidad de material que queda en el tamiz luego de someterlo al choro de agua a presión, o a la acción del tamizador en seco.

8. Referencia:

- NTE INEN 957 1987: 09 y NTE INEN 489 1987:09

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	REVISION: 03 CODIGO: I.CK-7.1-04
	Instructivo para Determinación de la Densidad Aparente	PAGINA: 127/2 FECHA: 2006-10-30

1. Propósito:

Determinar la densidad aparente del los diferentes materiales.

2. Alcance:

A las muestras de crudo, cemento (fabricación y expendio), puzolana, yeso y clinker.

3. Definiciones:

- **Crudo:** Material calcáreo que a pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado en cuanto a su fineza para continuar con el proceso.
- **Enrasar:** Llenar un recipiente con el material en estudio hasta la indicación de llenado total.
- **Densidad aparente:** El volumen ocupado por el material objeto de estudio considerando el espacio entre sus partículas. Se basa en el llenado de un recipiente de 1 l de capacidad con el material cuya densidad aparente se ha de determinar.

4. Responsabilidades:

Es responsabilidad del Inspector y/o Analista de Ensayos Físicos Mecánicos la aplicación de este instructivo.

5. Equipo:

- Recipiente de 1 l de capacidad y peso conocido
- Balanza
- Juego de tamices
- Tamiz especial para cemento: 80 ASTM
- Espátula

6. Instrucciones:

6.1. Densidad del crudo.

- 6.1.1. Enrasar el recipiente de 1 l de capacidad previamente tarado con el material “crudo”.
- 6.1.2. No se presiona en el llenado, sino como se acomode las partículas.
- 6.1.3. Enrasar con ayuda de una espátula y determinar el peso total.

6.2. Densidad del cemento.

- 6.2.1. Pasar por el embudo para la determinación de la densidad.
- 6.2.2. Llenar el recipiente de 1l de capacidad.
- 6.2.3. Enrasar con la ayuda de una espátula y determinar el peso total.

6.3. Densidad de puzolana, yeso y clinker.

- Tomar la muestra de puzolana, yeso o clinker mediante según *I.CK-7.1- 01 Instructivo para toma y preparación de muestras.*
- 6.3.1. Tamizar la muestra en el juego de tamices de abertura: 50, 31.5, 20 16,10, y 6.3 mm.

6.3.2. Llenar y enrasar proporcionalmente el recipiente de 1l de capacidad con el retenido de los 3 últimos tamices. En el caso del clinker se tamiza únicamente con los dos últimos tamices y se llena el recipiente con el retenido del último.

6.3.3. Enrazar y determinar el peso total.

7. Cálculos:

Densidad (g/l) = $\frac{Pt - Pr}{V}$

Pt = Peso total.

Pr = Peso recipiente.

8. Referencia:

- N.T.E. I.N.E.N. 156 02:87
- I.CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	REVISION: 03 CODIGO: I.CK-7.1-12
	Instructivo para Análisis de Muestras por Rayos X	PAGINA: 130/3 FECHA: 2006-11-06

1. Propósito:

Establecer el instructivo para la realización de análisis de muestras por Rayos X.

2. Alcance:

Se aplica esta instrucción al análisis de muestras de arcillas, caliza, crudo, clinker, yeso, puzolana, cemento.

3. Definiciones:

- **Arcilla:** Suelo o roca sedimentaria, plástica y tenaz cuando se humedece. Se endurece permanentemente cuando se cuece o calcina.
- **Caliza:** Tipo común de roca sedimentaria, compuesta por calcita (carbonato de calcio, CaCO_3). Cuando se calcina (se lleva a alta temperatura) da lugar a cal (óxido de calcio, CaO). La caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol.
- **Yeso:** Mineral común consistente en sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- **Crudo:** Material calcáreo que a pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado para continuar con el proceso.
- **Clinker Portland:** Es la producto de la cocción a altas temperaturas de una mezcla íntima de materiales arcillosos y calcáreos finamente molidos antes de su cocción y en proporciones determinadas

- **Cemento Portland:** Producto de moler a una fineza determinada el clinker portland con un porcentaje adecuado en masa de yeso. Puede molerse con otros materiales (puzolana, escoria etc.) dando lugar a los diferentes tipos de cemento.
- **Espectrómetro:** Instrumento que genera, analiza y registra espectros y que permite determinar la composición química por medio de la incidencia de Rayos X sobre la muestra de estudio.

4. Responsabilidades:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Ingeniero y/o Asistente de Calidad, Muestrero e Inspector.

5. Equipo:

- Chapas de aluminio
- Vibromolino
- Prensa Hidráulica
- Pinza
- Plancha térmica
- Bandeja de aluminio
- Espectrómetro

6. Instrucciones:

- 6.1. Tomar la muestra preparada según *I.CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras.*
- 6.2. Colocar una película fina de vaselina en las paredes interiores de la cámara de muestras de la prensa neumática.

- 6.3.** Llenar un 90% de la cámara de la prensa neumática con la muestra a analizar.
- 6.4.** Cerrar y Prensar la muestra con el accionamiento, pulsando el botón principal.
- 6.5.** Abrir y accionar la prensa para sacar la muestra prensada (pastilla).
- 6.6.** Colocar la(s) muestra(s) en el cargador identificando su posición y cerrar la compuerta en el menor tiempo posible.
- 6.7.** Verificar si se encuentra en el programa OPERADOR.
- 6.8.** Trabajar en la computadora y posesionar el indicador en LOADER.
- 6.9.** En la pantalla borrar todos los datos que esté cargado.
- 6.10.** Tabular la identificación (códigos) de la siguiente forma:

Código	hora
TR para trituración	XXH
MC para molino de crudo	XXH
SC para silo comprobado	1, 2,...
AH para alimentación al horno	XXH
KK para clinker	XXH
FF para cemento de fabricación	XXH
EE para cemento de expendio	XXH
Cualquier etiqueta para el resto de materiales	XXH

- 6.11.** Posesionarse en la siguiente casilla que se presenta en blanco, seleccionar y pulsar ENTER el programa respectivo considerando:

<i>CRUDO</i>	Alimentación al horno, silos comprobados, Molino de crudo, material de trituración, Calizas.
<i>CLINKERGUAPAN</i>	Para clinker.

<i>FFYEE</i>	Cemento de fabricación y expedición
<i>PUZOLANA</i>	Para puzolanas.
<i>YESOL</i>	Para yeso de la provincia de Loja
<i>YESOP</i>	Para yeso proveniente de Perú
<i>ARCILLA</i>	Para arcilla

6.12. Verificar que esté correcta la indicación de códigos y posiciones.

6.13. Comprobar que la impresora este lista.

6.14. Pulsar F10.

7. Referencia:

- CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras.
- Manual del espectrómetro.

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	REVISION: 03
	Instructivo para Determinación de la Densidad Real	CODIGO: I.CK-7.1-20 PAGINA: 134/3 FECHA: 2006-11-07

1. Propósito:

Establecer la instrucción documentada para la determinación de la densidad real.

2. Alcance:

Este procedimiento se aplica para la determinación de la densidad real en el cemento.

3. Definiciones:

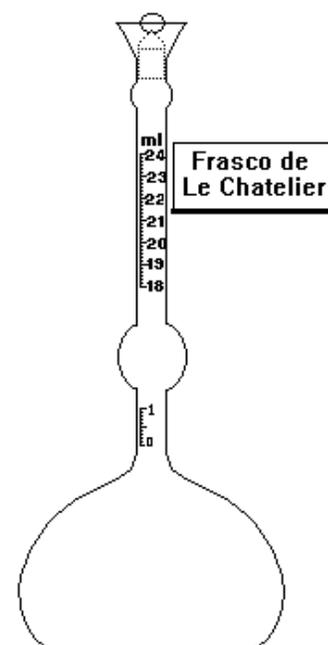
- **Densidad real:** La determinación de la densidad consiste en establecer la relación entre la masa de sustancia (ejem: cemento, puzolana, etc) y el volumen de líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le-Chatelier.
- **Frasco de Le-Chatelier:** El frasco de Le Chatelier es un frasco con graduaciones propias para determinar la densidad.
- **Clinker Pórtland:** es el producto de la cocción a altas temperaturas de una mezcla íntima de materiales arcillosos y calcáreos finamente molidos antes de su cocción y en proporciones determinadas.
- **Cemento Pórtland:** producto de moler a una fineza determinada el clinker pórtland con un porcentaje adecuado y no mayor al 5% en masa de yeso. Puede molerse con otros materiales (puzolana, escoria etc.) dando lugar a los diferentes tipos de cemento.

4. Responsabilidades:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Ingeniero y/o Asistente de Calidad.

5. Equipo:

- Frasco de Le Chatelier
- Embudo de vidrio
- Soporte universal
- Vasos de precipitación
- Termómetro
- Líquido no reactivo (diesel)



6. Instrucciones:

- 6.1. Cuidando de que el frasco de Le Chatelier esté completamente seco, se lo llena con el líquido de desplazamiento hasta enrasar en una división comprendida entre las marcas de 0 a 1 cm³, evitando mojar la pared interior del frasco. El líquido de desplazamiento puede ser kérex u otro derivado del petróleo, con una densidad no menor a 0,7268 g/cm³ a 20 °C.
- 6.2. Sumergirlo en un baño de agua a 20±0,1 °C, manteniéndolo vertical hasta que su contenido haya alcanzado la temperatura del baño, momento en el cual se debe efectuar la lectura (V₁) que corresponde al volumen ocupado por el líquido contenido en el frasco.
- 6.3. Se introduce en el frasco la cantidad de muestra cuya densidad queremos conocer (64 g para el cemento, más o menos 50 g para la puzolana), evitando que se produzcan salpicaduras o que el material se adhiera a la pared interior del frasco sobre el nivel del líquido.

- 6.4.** Tapar el frasco y, tomándolo adecuadamente, girarlo en posición inclinada o en círculos horizontales, hasta que, colocado en una superficie horizontal no asciendan burbujas de aire a la superficie del líquido, liberando de esta manera el aire de la muestra.
- 6.5.** Sumergir el frasco en el baño de agua para mantener la temperatura de $20 \pm 0,1$ °C y registrar la lectura final del volumen (V_2).

7. Cálculos:

La densidad se calcula mediante la fórmula:

$$d = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad \text{donde:}$$

en g/cm^3

- d = densidad de la muestra
- m = masa de la muestra de cemento utilizada
- V_1 = volumen del líquido en la primera lectura
- V_2 = volumen del líquido + muestra en la lectura final

8. Referencia:

- Norma NTE INEN 156 Cemento hidráulico: Determinación de la densidad

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	REVISION: 03 CODIGO: I.CK-7.1-21
	Instructivo para Determinación de la Superficie Específica	PAGINA: 137/3 FECHA: 2006-11-07

1. Propósito:

Establecer la instrucción para la determinación de la superficie específica.

2. Alcance:

Esta instrucción se aplicará al producto cemento.

3. Definiciones:

- **Superficie específica:** La superficie específica es la suma de las superficies de las partículas de un gramo de muestra, la misma que utiliza permeabilimetría y se lo realiza en el “Permeabilímetro o Aparato de Blaine”, el que consiste de una célula de permeabilidad, un manómetro, un líquido manométrico, un disco perforado y un émbolo.

4. Responsabilidades:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Inspector y/o Analista de Ensayos Físico-Mecánicos

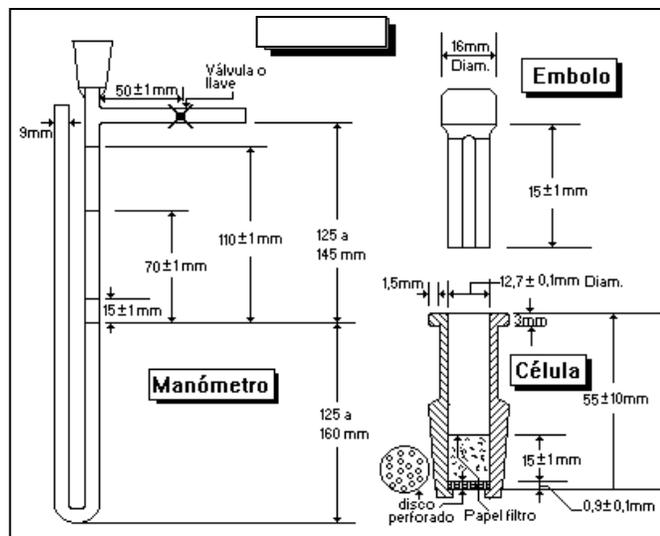
5. Equipo:

- Permeabilímetro
- Papel filtro

- Cronómetro
- Termómetro
- Espátula
- Balanza
- Embudo

6. Instrucciones:

- 6.1.** Pesar una cantidad de muestra exactamente igual a la de la muestra patrón, según procedimiento para calibrar el aparato, según *Norma NTE INEN 196*.
- 6.2.** Colocar un papel filtro sobre el disco perforado y la muestra en la célula de permeabilidad.
- 6.3.** Nivelar cuidadosamente la muestra mediante ligeros golpes en las paredes de la célula, y luego cubrir la muestra con otro papel filtro.
- 6.4.** Bajar cuidadosamente el pistón hasta que su reborde esté en contacto con la parte superior de la célula y luego, levantarlo sin dispersar el cemento.
- 6.5.** Registrar exactamente la temperatura del laboratorio antes de comenzar la determinación.
- 6.6.** Conectar herméticamente la célula con el manómetro, cuidando que no se altere la capa del cemento.
- 6.7.** Expulsar lentamente el aire contenido en el brazo del manómetro, hasta que el líquido llegue a nivel de la primera marca.
- 6.8.** Comenzar a registrar el tiempo el instante en que el menisco del líquido llegue a la marca inmediatamente inferior.



6.9. Detener el cronómetro cuando el menisco llega a la penúltima marca.

6.10. Registrar el tiempo transcurrido.

7. Cálculos:

La superficie específica se calcula con las siguientes fórmulas:

$$A = K \frac{(n^3)^{1/2} (t)^{1/2}}{\sqrt{(1-n) (\eta)^{1/2}}}$$

$$K = \frac{A_p \sqrt{(1-n_p) (\eta_p)^{1/2}}}{(n_p^3)^{1/2} (t_p)^{1/2}}$$

Siendo:

- A = Superficie específica cm^2/g
- t = Intervalo de tiempo en el ensayo
- η = Viscosidad aire poises a la Temperatura t

- γ = Peso específico muestra ensayada
- n = Porosidad de la capa de material ensayada
- A_p = Superficie específica cm^2/g patrón
- η_p = Viscosidad aire poises a Temp. ensayo M.patrón
- t_p = Intervalo tiempo ensayo Muestra patrón
- n_p = porosidad fijada en capa Muestra patrón
- γ_p = Peso específico muestra patrón

8. Referencia:

- Norma NTE. INEN 196 Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de permeabilidad al aire.

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	REVISION: 03
	Instructivo para Determinación del Tiempo de Fraguado. Método de VICAT	CODIGO: I.CK-7.1-23 PAGINA: 141/3 FECHA: 2006-11-07

1. Propósito:

Establecer la instrucción para la determinación del tiempo de fraguado según el Método de VICAT

2. Alcance:

Al producto cemento (Cemento de Fabricación, Cemento de Expedición).

3. Definiciones:

- **Fraguado:** El fraguado es el proceso inicial de hidratación en el cual la parte del cemento hidráulico adquiere una mayor consistencia.
- **Tiempo de fraguado inicial:** El tiempo de fraguado inicial es el tiempo transcurrido desde que se agrega el cemento al agua para formar la pasta de consistencia normal, hasta el momento que la aguja de Vicat (ver fig. 3.1.5) tiene una penetración en dicha pasta de 25 mm o ligeramente menos en las condiciones normales de este ensayo.
- **Tiempo de fraguado final:** El tiempo de fraguado final es el tiempo transcurrido desde que se agrega el cemento al agua para formar la pasta de consistencias normal hasta el momento en la que no penetra y solamente se marque en la superficie de dicha pasta una huella de la aguja de Vicat, en las condiciones normales de este ensayo.

4. Responsabilidades:

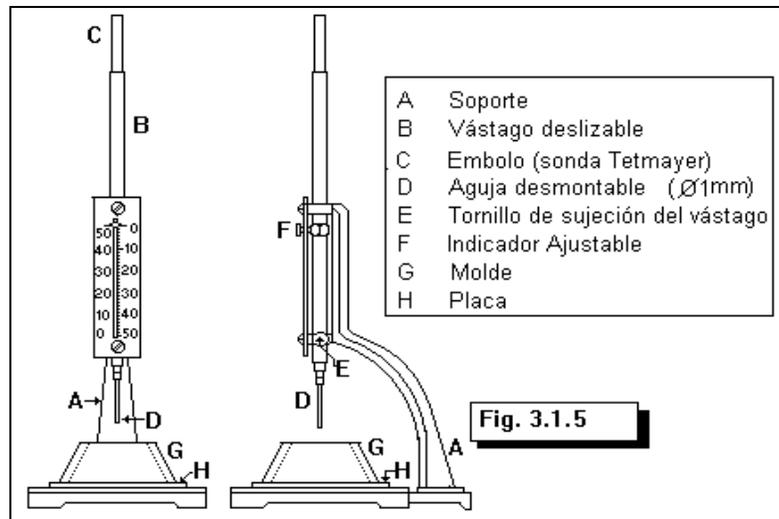
La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Analista de Ensayos Físico-Mecánicos.

5. Equipo:

- Aparato de Vicat
- Reloj cronómetro
- alanza analítica
- Mezcladora
- Placa
- Probeta
- Molde
- Espátula

6. Instrucciones:

- 6.1 La pasta de consistencia normal obtenida, en el molde y sobre la placa, se coloca en la cámara de curado.
- 6.2 Luego de 30 minutos de transcurrido desde el inicio de la preparación de la pasta de consistencia normal, se saca el molde de la cámara de curado húmedo y se coloca debajo del vástago deslizante que sostiene la aguja, poniéndola suavemente en contacto con la superficie de la pasta de cemento, por lo menos a 10 mm del borde del molde, fijando el vástago en esa posición.
- 6.3 Colocar el indicador ajustable en el 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 de la penetración.



- 6.4** Se vuelve a poner en la cámara de curado y se le saca para hacer la prueba de penetración en una parte no alterada de la superficie por lo menos a unos 10 mm de cualquier penetración anterior en un intervalo de cada 5 minutos. Este proceso se repite hasta que la aguja penetre 25 mm o un poco menos, luego de 30 s de haber soltado el vástago y este tiempo se registra como tiempo de fraguado inicial.
- 6.5** Transcurrido un tiempo prudencial, se repite el procedimiento anterior, hasta que la aguja no penetre y no deje marca visible en una parte no alterada de la superficie de la pasta del cemento.
- 6.6** Se registra el período transcurrido desde la preparación de la pasta de consistencia normal hasta el momento en que la aguja ya no penetra en la pasta y a este período se le conoce como tiempo final de fraguado.

Nota.- El tiempo de fraguado no solamente es afectado por el porcentaje y temperatura del agua utilizada y la cantidad de amasado de la pasta, sino también por la temperatura y humedad del aire, por lo que la humedad y la temperatura deben mantenerse controladas.

7. Referencia:

- Norma NTE INEN 158 Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado.
Método de Vicat

ANEXO 2

NORMAS INEN PARA CEMENTO HIDRAULICO

- [A2.1 NTE INEN 156 DETERMINACION DE LA DENSIDAD EN CEMENTO HIDRAULICO](#)
- [A2.2 NTE INEN 157 DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA NORMAL, METODO DE VICAT](#)
- [A2.3 NTE INEN 158 DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO, METODO DE VICAT](#)
- [A2.4 NTE INEN 196 DETERMINACION DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA, BLAINE](#)
- [A2.5 NTE INEN 200 DETERMINACION DE LA EXPANSION EN AUTOCLAVE](#)
- [A2.6 NTE INEN 488 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CUBOS DE CEMENTO DE 5 cm DE ARISTA](#)
- [A2.7 NTE INEN 490 CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO.- REQUISITOS](#)
- [A2.8 NTE INEN 957-3 DETERMINACION DEL RETENIDO EN EL TAMIZ DE 45 MICRAS](#)

- [A2.9 NTE INEN 2614 EVALUACION DE LA UNIFORMIDAD RESISTENCIA A LA COMPRESION](#)
- [A2.10 NTE INEN 2652 DETERMINACION DE LA FINURA DEL CEMENTO HIDRAULICO Y MATERIA PRIMA MEDIANTE LOS TAMICES DE 300 micras, 150 micras y 75 micras POR TAMIZADO HUMEDO](#)

ANEXO 3

REGISTRO FOTOGRAFICO

En el presente anexo fotográfico se ilustran los equipos utilizados en las diferentes pruebas físico-químicas por el uso de los residuos pétreos de la construcción en la molienda de cemento en Compañía Industrias Guapán S.A

Toma de muestras: Identificación visual del contenido de materiales.

Numeral 4.5.2 del Capítulo 4

Estas gráficas ilustran los lugares en los que fueron tomadas las muestras de los residuos pétreos y están ubicados en edificaciones de la Ciudad de Azogues y en la escombrera Municipal. Se puede observar el contenido de estos materiales asociado con residuos pétreos que contienen cemento, arena, ladrillos, maderas, etc.





Figura 1: Sitios de toma de muestras, edificaciones y escombrera Municipal de Azogues

Identificación y almacenamiento de las muestras para los análisis correspondientes.

Resultados en el Cuadro No. 8 del capítulo 5

En este cuadro se identifican las proporciones de los materiales presentes en cada una de las muestras tomadas, sean estos residuos de ladrillos, maderas, cemento, etc. Estas muestras así clasificadas han sido almacenadas convenientemente en fundas de plástico y protegidas de la humedad en el laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapan S.A, para someterlas a las pruebas físico-químicas correspondientes a la presente investigación.





Figura 2. Identificación y almacenamiento de muestras

Preparación de las muestras:

El primer ensayo que se realiza sobre estas muestras es la determinación de **la humedad** con la que los residuos pétreos han sido tomados y a la vez permite disponer de un material seco para las siguientes pruebas.

Resultados en el Cuadro No 10 del numeral 5.2.3.2

El ensayo se realiza de acuerdo al instructivo ICK-7.1-02 del Manual de Calidad del Laboratorio de Compañía Industrias Guapán S.A. Las muestras liberadas de la humedad, quedan listas para la molienda en el laboratorio hasta alcanzar una fineza requerida para las siguientes pruebas.



Figura 3 Estufa térmica para desecación de muestras húmedas.

En esta figura se observan los equipos con los que se dispone en el laboratorio tales como una plancha térmica que puede manejar temperaturas de hasta 250 °C y recipientes de aluminio para contener la muestra.

Preparación de las muestras: Molienda.

En este molino, se reduce el material hasta partículas micrométricas, fineza que se comprobará con la prueba de retenido en el tamiz de 45 micras.



Figura 4. Vibro molino para molienda de muestras secas.

Fuente: Laboratorio de control de calidad de Compañía Industrias Guapán S.A (2012).

En esta figura se observan los equipos con los que se dispone en el laboratorio tales como un vibro molino y anillos de tungsteno altamente resistente que provocan la molienda fina.

Prueba de fineza: Retenido en el tamiz de 45 micras, tamizado humedo

El ensayo se realiza de acuerdo a la Norma INEN 957

Los resultados de este ensayo se encuentran detallados en el cuadro No 11 del capítulo 5



Figura 5. Balanza analítica y tamiz de 45 micras

En esta figura se observan los equipos con los que se dispone en el laboratorio tales como una balanza analítica, plancha térmica y tamices de 45 micras de abertura.

Ensayos de fluorescencia de rayos x

Las pruebas para determinar el contenido porcentual de óxidos en una determinada muestra a través de fluorescencia de rayos x, se realizan de acuerdo a la instrucción ICK -7.1-12 del Manual de Calidad del laboratorio de Compañía Industrias Guapán S.A

Los resultados de estas determinaciones se encuentran detallados en el cuadro No 12 del capítulo 5



Figura 6. Prensa electroneumática y equipo de fluorescencia de rayos X S8-TIGER. Marca Bruker. Fuente: Departamento de calidad (2012).

En esta figura se observan la prensa electromecánica para la preparación de pastillas con el material que ha sido molido y el equipo de fluorescencia de rayos x, S8 Tigger del fabricante Bruker con el que se realiza los análisis de la composición potencial en los residuos pétreos motivo de esta investigación.

Ensayos de difracción de rayos x

El instructivo para este análisis se encuentra al momento en proceso de ejecución y aprobación para difundirlo en el Manual de Calidad, tomando en consideración el procedimiento entregado por el proveedor. Los resultados de estos análisis se encuentran detallados en los cuadros No 13 y No 14 del capítulo 5



Figura 7. Difractómetro de Rayos X D2 Phaser, marca Bruker. En funcionamiento (izq), Estructura interior para carga de muestras (der)

Fuente: Departamento de Control de Calidad

La figura ilustra al equipo de difracción de rayos x D2Phaser del proveedor Bruker, a través del cual se realizan los ensayos en las muestras de materia prima, producto en proceso y producto terminado en el laboratorio de control de calidad, conforme a lo explicado en el numeral 5.2.4.1 del capítulo 5

Determinacion de la densidad real

El ensayo se realiza de acuerdo a la Norma INEN 156.

Los resultados de estas determinaciones se encuentran detallados en el cuadro No. 9 del capítulo 5



Figura 8. Frasco de Le-chatelier, termómetro y diesel filtrado

La figura permite observar la disponibilidad de equipos tales como vasos de precipitación, frasco de Le-chatelier, termómetros, utilizados en el laboratorio de control de calidad para la determinación de la densidad real de las materias primas y producto terminado.

Determinación de la superficie específica o blaine (cm²/g)

El ensayo se realiza de acuerdo a la Norma INEN 196.

Los resultados de esta prueba se encuentran detallados en el cuadro No. 19 del capítulo 5



Figura 9. Permeabilímetro de aire, liquido manométrico, cronómetro y filtros

La figura permite observar la disponibilidad de equipos tales como el permeabilímetro de aire, cronómetro, filtros de 12 mm de diámetro y solución manométrica a través de los cuales se determina la cantidad de cm^2 que puede ocupar un gramo de material finamente dividido, variable que incide directamente en la resistencia a la compresión del cemento.

Determinación del tiempo de fraguado.- Método de vicat

El ensayo se realiza de acuerdo a la Norma INEN 158

Los resultados de esta prueba están detallados en el cuadro No. 19 del capítulo 5



Figura 10: Aparatos de vicat automático y manual

Se pueden observar en la presente figura los aparatos de vicat automático y manual, a través de los cuales se determinan los tiempos de fraguado inicial y final de una pasta de cemento.

Determinacion de la resistencia a la compresion

El ensayo se realiza de acuerdo a la Norma INEN 488

Los resultados de esta prueba se encuentran en los cuadros No. 18 y 19 del capítulo 5





Figura 11. Preparación de morteros, piscinas de maduración, cámara húmeda y máquina para pruebas de resistencia a la compresión

En estas figuras se pueden observar la confección de cubos de 5 cm de arista, las piscinas de maduración, la cámara húmeda y la prensa con la que se realiza la prueba de resistencia a la compresión del mortero.

Determinación de la expansión en autoclave

El ensayo se realiza de acuerdo a la Norma INEN 200

Este ensayo se realizó sobre una muestra promedio de los 16 experimentos en razón del tiempo y las condiciones de presión y temperatura que se utilizan en el equipo de autoclave. Generalmente se realiza un ensayo por mes a las muestras de cemento que se produce en Compañía Industrias Guapan S.A El resultado obtenido es de 0,0029% de expansión de volumen en las barras de mortero.



Figura 11. Autoclave y barras de mortero

En estas figuras se observan tanto las barras preparadas con mortero de cemento y residuos pétreos y el equipo de autoclave a través del cual se somete a aquellas a altas presiones y temperaturas para determinar la expansión en volumen, prueba conocida también como sanidad del cemento.

ANEXO 4**DISEÑO EXPERIMENTAL Y DE OPTIMIZACION**

Con los resultados de difracción de las muestras de residuos pétreos de la construcción que se detallan en el capítulo 5, se ha procedido a realizar el diseño experimental con el siguiente modelo 2^k donde $k= 4$ que corresponde a las variables A, B, C y D en las que se han agrupado los materiales con actividad puzolánica de acuerdo a:

Rango de actividad puzolanica

VARIABLE	%
A	80-81
B	79-80
C	76-79
D	81-83

Para este diseño se toman como valor mínimo (-1) y máximo (+1) los siguientes porcentajes de adición de cada una de los materiales

VARIABLE	MINIMO(-1)	MAXIMO(+1)	UNIDAD
A	3	4	%
B	2	3	%
C	1	2	%
D	0,5	1	%

Luego de haber realizado las pruebas físicas en el laboratorio de control de calidad y al cabo de 28 días se determina la resistencia a la compresión en morteros, resultados que se encuentran en el capítulo 5 y corresponden a la variable de salida para la confección de la presente matriz experimental, la cual permite obtener los coeficientes de la ecuación y determinar a través del gráfico Half-normal-plot, las variables de mayor incidencia en la investigación y así proceder al diseño final de optimización.

MATRIZ EXPERIMENTAL PRINCIPAL: RESULTADO DE LOS EXPERIMENTOS A LOS 28 DIAS

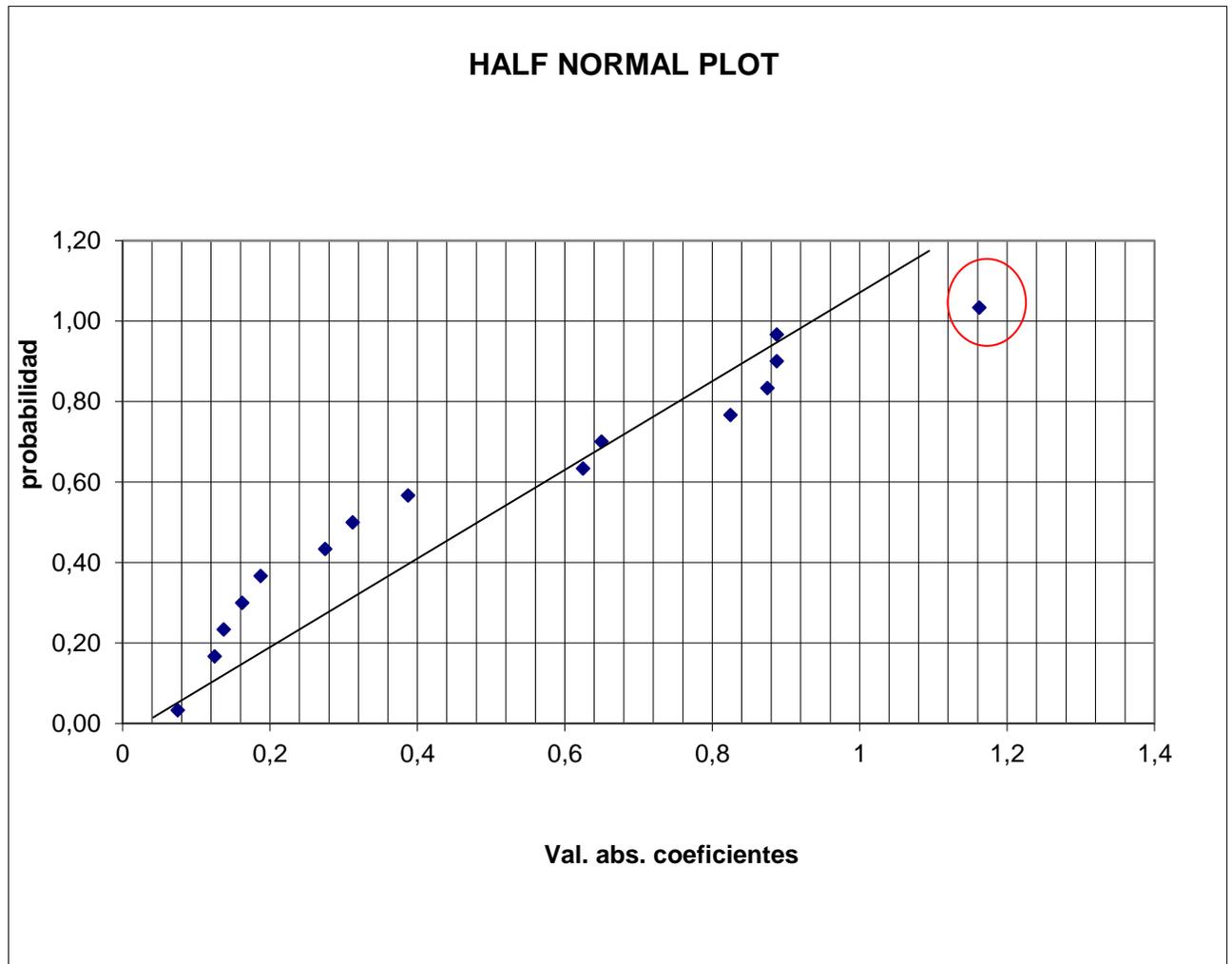
	i	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ACD	ABD	BCD	ABCD	R-28DIA
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	30,7
2	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	32,7
3	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	29,8
4	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	32,3
5	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	35,6
6	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	37,4
7	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	33,9
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	32,2
9	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	33,2
10	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	32,7
11	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	30,3
12	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	36,5
13	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	30,1
14	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	31,7
15	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	34,5
16	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	36,8

**CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA
ECUACION**

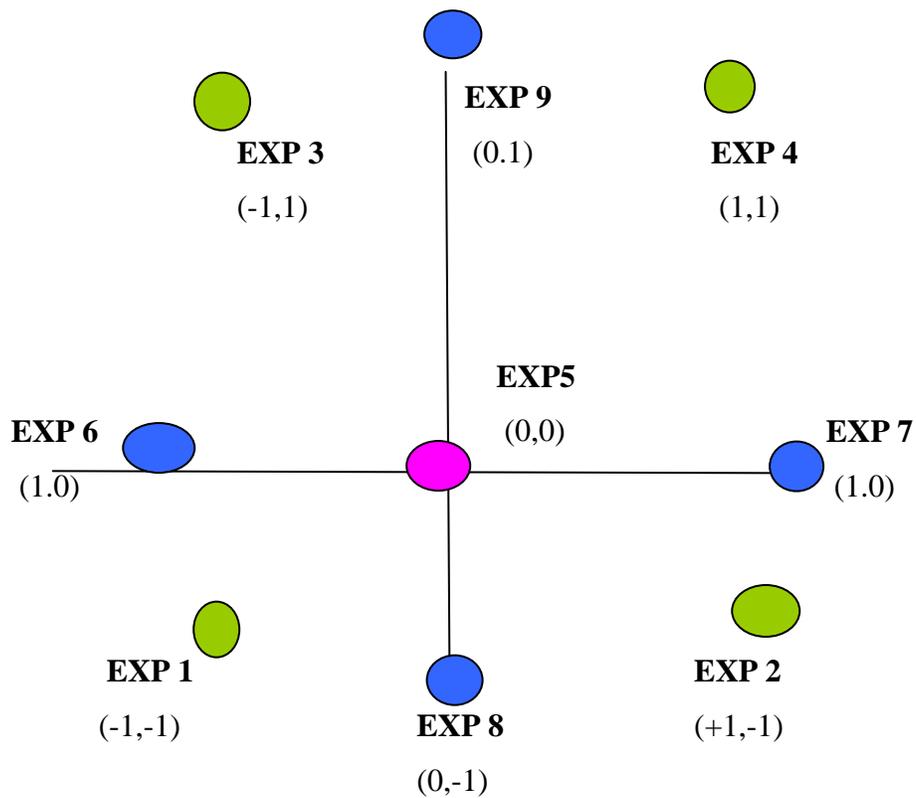
I	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ACD	ABD	BCD	ABCD
33,15	-0,8875	-0,1375	-0,875	-0,075	0,275	-0,3875	0,3125	0,1875	1,1625	-0,825	0,625	-0,1625	-0,65	-0,8875	-0,125

DATOS PARA EL GRAFICO DE HALF NORMAL PLOT

	FACTOR	COEF	PROB
1	D	0,075	0,03
2	ABCD	0,125	0,17
3	B	0,1375	0,23
4	ACD	0,1625	0,30
5	BC	0,1875	0,37
6	AB	0,275	0,43
7	AD	0,3125	0,50
8	AC	0,3875	0,57
9	ABC	0,625	0,63
10	ABD	0,65	0,70
11	CD	0,825	0,77
12	C	0,875	0,83
13	A	0,8875	0,90
14	BCD	0,8875	0,97
15	BD	1,1625	1,0



En el gráfico de estos resultados se observa que las variables de mayor influencia son B y D por lo que se realizara el diseño de optimización de nueve experimentos, 4 de los cuales existen y los restantes 5 se tomaran variando únicamente estas dos variables y manteniendo constantes A y C en valores intermedios

DISEÑO DE OPTIMIZACION CENTRAL

Se procede a realizar los cinco experimentos nuevos en el laboratorio para comprobar al cabo de 7 o 28 días la resistencia a la compresión de las muestras de cemento preparadas con residuos pétreos de la construcción

DISEÑO PARA OPTIMIZAR

	EXP.	B	D	R- 28 DIA
EXPERIMENTOS EXISTENTES	1	-1	-1	34,525
	2	1	-1	31,925
	3	-1	1	32,05
	4	1	1	34,1
PARA ESTOS EXPERIMENTOS MANTENER CONSTANTES A y C Y C EN % INTERMEDIOS	5	0	0	?
	6	0	-1	?
	7	0	1	?
	8	-1	0	?
	9	1	0	?

Para formar los experimentos del 1 al 4 se han tomado los promedios de la resistencia a la compresión de los resultados en los cuales B y D coinciden en la matriz principal de acuerdo al diseño de optimización central .

-1	-1	34,525
1	-1	31,925
-1	1	32,05
1	1	34,1

EXPERIMENTOS A REALIZAR EN LABORATORIO					
	A%	B%	C%	D%	R-7 y 28 DIAS
EXP 5	3,5	2,5	1,5	0,75	?
EXP 6	3,5	2,5	1,5	0,5	?
EXP 7	3,5	2,5	1,5	1	?
EXP 8	3,5	2	1,5	0,75	?
EXP 9	3,5	3	1,5	0,75	?

MUESTRAS M1 , M7, M3, M4, M8 CORRESPONDEN A MATERIAL CON ACTIVIDAD PUZOLANICA APTA PARA EL USO EN LA MOLIENDA DE CEMENTO								
A		B	C		D	MATERIAL	CEMENTO	TOTAL
M1	M7	M2	M3	M4	M8	gramos	gramos	Gramos
14	14	20	6	6	6	66	734	800
14	14	20	6	6	6	64	736	800
14	14	20	6	6	8	68	732	800
14	14	16	6	6	6	62	738	800
14	14	24	6	6	6	70	730	800

LOS RESULTADOS PUEDEN SER VALORADOS A LOS 7 o 28 DÍAS

LA MUESTRA TOTAL DE CEMENTO A PREPARAR ES DE 800 gramos

DESARROLLO DEL DISEÑO DE OPTIMIZACION

MATRIZ DE LOS EXPERIMENTOS DE OPTIMIZACION

No	I	B	D	BD	B²	D²	R-7DIAS
1	1	-1	-1	1	1	1	23,53922
2	1	1	-1	-1	1	1	22,44608
3	1	-1	1	-1	1	1	21,75980
4	1	1	1	1	1	1	21,13235
5	1	0	0	0	0	0	23,30000
6	1	0	-1	0	0	1	23,70000
7	1	0	1	0	0	1	23,20000
8	1	-1	0	0	1	0	23,30000
9	1	1	0	0	1	0	23,80000

Esta matriz presenta los resultados de la resistencia a la compresión de los experimentos a los 7 días, expresado en mega pascales. Con el uso de matlab, se determinarán los coeficientes de la ecuación y la superficie de respuesta con la finalidad de observar el punto máximo de la dosificación de los materiales

Con el uso de matlab, tenemos:

Matriz de dispersión

0,55555556	0	0	0	-	-
0	0,16666667	0	0	0,33333333	0,33333333
0	0	0,16666667	0	0	0
0	0	0	0,25	0	0
-	0,33333333	0	0	0,5	0
-	0,33333333	0	0	0	0,5

Las diagonales corresponden a los errores de los coeficientes debido a la planificación

	C _{jj}	
b1	0,55555556	
b2	0,16666667	B
b3	0,16666667	D
b23	0,25	BD
b22	0,5	B ²
b33	0,5	D ²

Ecuación del polinomio

$$Z_c = b_1 + b_2 * X_1 + b_3 * Y_1 + b_{23} * X_1 * Y_1 + b_{22} * X_1^2 + b_{33} * Y_1^2$$

$$Z_c = 0,5556 + 0,1667B + 0,1667D + 0,25BD + 0,5B^2 + 0,5D^2$$

$$d Z_c/dB = 0,1667+0,25D+2*0,5B$$

$$d Z_c/dD = 0,1667+0,25+2*0,5D$$

Máximo

$$0,1667+0,25D+2*0,5B=0$$

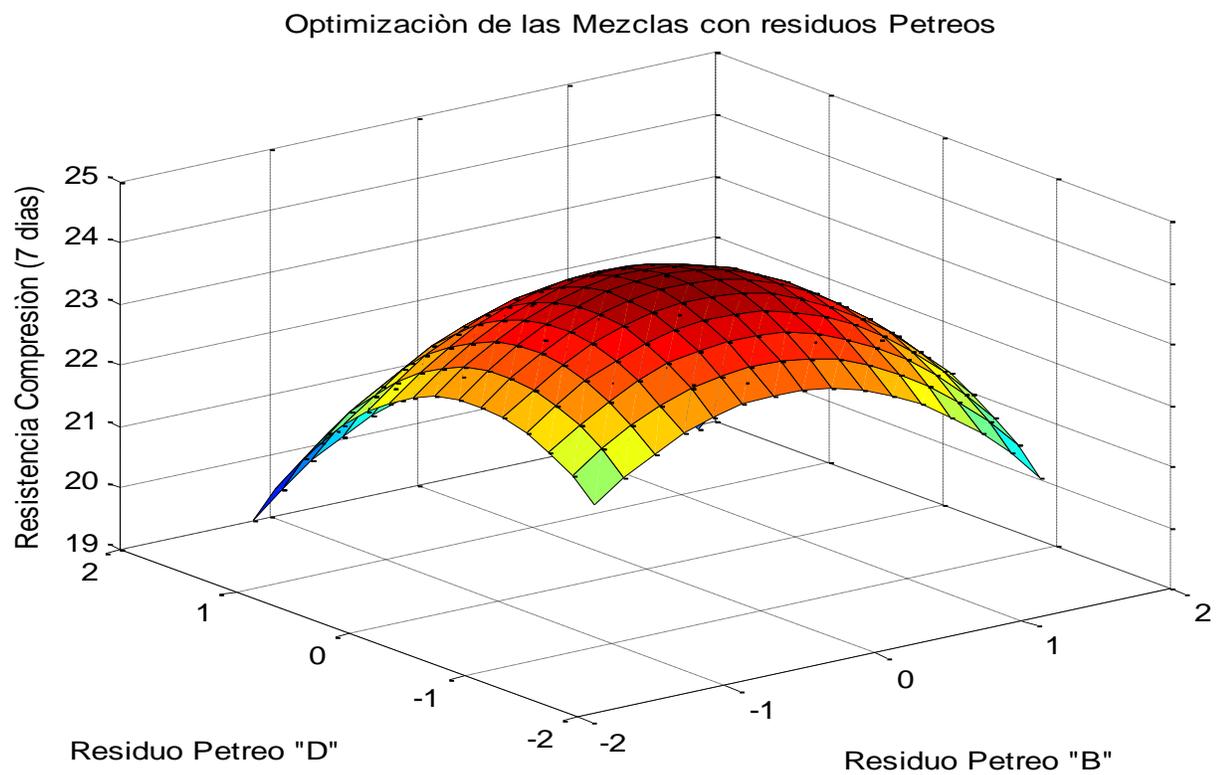
$$0,1667+0,25B+2*0,5D=0$$

Calculo del punto máximo

B	D	R			
1	0,25		-0,166667	B=	- 0,1333
0,25	1		-0,166667	D=	-0,1333

COORDENADAS DEL PUNTO MAXIMO EN LA SUPERFICIE DE RESPUESTA

$$(B, D) = (-0, 133, -0, 133)$$



CALCULO DE LOS PORCENTAJES CORRESPONDIENTES A ESTE PUNTO

	-1	1	0
B	2%	3%	2,50%
D	0,50%	1%	0,75%

$$2,5 / 1 = - 0,133 / X1 \quad X1 = \quad \mathbf{0,0532}$$

$$0,75 / 1 = - 0,133 / X2 \quad X2 = \quad \mathbf{0,17733333}$$

$$\%B = 2,5 - X1$$

$$\%D = 0,75 - X2$$

**PORCENTAJES DEL PUNTO
MAXIMO**

%B	%D
2,4468	0,57266667

Conclusión: Se han tomado los resultados de los experimentos de optimización a los 7 días cumpliendo estos con la especificación en cuanto a la resistencia a la compresión por lo que a los 28 días mantendrá la misma tendencia, entre los porcentajes del punto máximo con los materiales B y D como predominantes.