



Universidad del Azuay

Escuela de Posgrados

**Desarrollo de un Eco cemento y derivados a partir de desechos
cerámicos**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Magister en
Administración de Empresas**

Autor: Ing. Ivor Inga Chacón

Director: Ing. Iván Coronel.

Cuenca, Ecuador

2013

DEDICATORIA

A María Augusta,

Alfredo, Gladys,

Erika e Irina,

Por su apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

A María Augusta, mis padres y hermanas por su apoyo constante durante el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Salazar por sus conocimientos transmitidos con afecto y mucha fe, fe de cambio en el paradigma de los materiales constructivos.

Al Ing. Coronel por la guía constante durante el desarrollo de este estudio.

INDICE

RESUMEN-----	9
ABSTRACT -----	10
INTRODUCCION -----	11
Situación Actual: Síntomas y Causas.-----	11
Definición del Problema: -----	11
Problemas Específicos: -----	12
Objetivo General -----	12
Objetivos Específicos -----	12
Justificación de la investigación -----	12
Hipótesis-----	13
Marco Conceptual -----	13
CAPITULO I -----	15
Proceso de Fabricación del Cemento Portland. -----	15
Principales características del cemento. -----	16
Ensayos básicos para su análisis y control:	
Tiempo de fraguado, resistencia a la Compresión,	
Finura, Expansión en la barra de mortero. -----	16
Tiempo de Fraguado -----	16
Resistencia a la compresión -----	18
Finura -----	18
Ensayos de Durabilidad del cemento: Pruebas en Autoclave y por inmersión en agua. -----	19
CAPITULO II -----	20
Los requisitos del Cemento Portland según INEN 2380. -----	20
Requisitos Físicos obligatorios: Finura, Tiempo de fraguado, Resistencia a la Compresión, Calor de Hidratación, Expansión en barra de Mortero, Expansión por sulfatos -----	21

Finura -----	21
Tiempo de fraguado -----	23
Resistencia a la compresión -----	25
Calor de hidratación -----	27
Expansión en la barra de mortero -----	28
CAPITULO III -----	38
Calificación de la aptitud de la Cerámica Cocida. -----	38
Activación mecánica y térmica de la cerámica cocida -----	38
Análisis químico de la cerámica. -----	40
Análisis de actividad puzolánica de la cerámica cocida. -----	43
Diseño experimental y pruebas piloto -----	44
Breve estudio de riesgos e impactos -----	47
Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (Edición Especial No 2 del Registro Oficial de 31 de marzo de 2003) -----	53
Libro VI: De la Calidad Ambiental. -----	53
Título IV, Reglamento A la ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. -----	53
CAPITULO IV -----	59
Fórmulas básicas para los productos: Hormigón, Bloques y Enlucidos, con el eco cemento elaborado.-----	59
Desarrollo de la formula básica para Hormigón: 210 -----	59
Desarrollo de la formula básica para Bloque de hormigón -----	61
Desarrollo de la formula básica para Enlucido. -----	66
Aplicación de las formulas obtenidas en los productos propuestos.-----	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	76
RECOMENDACIONES -----	77

BIBLIOGRAFÍA	78
--------------------	----

ANEXO A-1.....	80
----------------	----

ANEXO A-2.....	83
----------------	----

ANEXO A-3.....	84
----------------	----

INDICE DE TABLAS Y GRAFICOS

Tabla 2.1. Requisitos físicos normalizados	20
--	----

Tabla 2.6: Determinación de la Expansión de barra de mortero de cemento hidráulico almacenadas en agua, (INEN 2529)	29
---	----

Tabla 2.9: Ruido en ensayo de Yeso Optimo	33
---	----

Tabla 2.10: Repeticiones	34
--------------------------------	----

Tabla 2.11: Tratamientos previos.	34
--	----

Tabla 2.12: Valores cuadráticos.	35
---------------------------------------	----

Tabla 2.14: Comparación entre Norma 2380 y Cemento Patrón.	37
---	----

Tabla 3.1: Distribución de cuerpos moledores	39
--	----

Tabla 3.3: Análisis Químico de Cerámica Molida	41
--	----

Tabla 3.4: Resultados de Difracción de Cerámica Cocida	42
--	----

Tabla 3.6: Índice de Actividad Puzolánica	43
---	----

Tabla 3.8: Diseño Experimento: Eco cemento	45
--	----

Tabla 3.10: Ubicación instalación piloto	47
--	----

Tabla 3.11: Materiales Utilizados	47
---	----

Tabla 3.13: Gestión Logística	49
-------------------------------------	----

Tabla 3.14: Gestión de las Actividades de Producción y Servicios.	49
--	----

Tabla 3.15: Gestión de Calidad	50
--------------------------------------	----

Tabla 3.16: Gestión de la Ingeniería y mantenimiento. -----	50
Tabla 3.17: Gestión de los Residuos.-----	51
Tabla 3.18: Control de Costos y de la Productividad. -----	51
Tabla 3.19: Condiciones de Seguridad e Higiene Laboral. -----	51
Tabla 3.20: Niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo -----	55
Tabla 3.21: Cronograma Implementación Acciones PML -----	58
Tabla 4.3: Diseño de hormigón. -----	61
Tabla 4.4: Tipos de bloques huecos de hormigón y sus usos -----	62
Tabla 4.5: Dimensiones de los bloques -----	62
Tabla 4.6: Especificaciones de Resistencia en bloques. -----	64
Tabla 4.8: Dosificación bloque alivianado -----	65
Tabla 4.10: Dosificación bloque tipo A -----	66
Tabla 4.11: Dosificación mortero con Eco cemento -----	67
Tabla 4.12: Especificaciones por dosificación, según INEN 2518 -----	67
Tabla 4.13: Granulometría de la Arena -----	68
Tabla 4.14: Hinchamiento de arena -----	68
Tabla 4.15: Determinación de espacios libres de arena -----	69
Tabla 4.16: Dosificación del mortero -----	69
Tabla 4.17: Determinación de la Fluidez del mortero -----	70
Tabla 4.18: Fluidez del Mortero. -----	71
Tabla 4.19: Contenido de Aire. -----	71
Tabla 4.20: Dosificación del Hormigón. -----	72
Tabla 4.21: Resultados Hormigón -----	73
Tabla 4.22: Resultados Fórmula Bloque liviano -----	73
Tabla 4.23: Resultados Fórmula Bloque Hormigón -----	74

Tabla 4.24 Resultados Enlucido	74
Tabla 4.25: Resultados Enlucido	75
Grafico 2.2: Procedimiento para determinar la finura	22
Grafico 2.3: Procedimiento para determinar el fraguado	24
Grafico 2.4: Resistencia a la compresión, según norma INEN 488	26
Grafico 2.5: Determinación de la expansión en autoclave según INEN NTE 200	28
Grafico 2.7: Mezclas patrón según INEN 1505	30
Grafico 2.8: Porcentaje Optimo de Yeso	31
Grafico 2.13: Porcentaje Optimo de Yeso en OPC	36
Gráfico 3.2: Tiempo de molienda óptimo	40
Gráfico 3.5: Difractograma de Cerámica Cocida	42
Grafico 3.7: Resultados de Granulometría de Cerámica Cocida.	44
Gráfico 3.9: Resistencia del Eco cemento (MPa).	46
Gráfico 3.12: Diagrama de Flujo del proceso.	48
Grafico 4.1:P.U.C. Pasta de cemento.	60
Gráfico 4.2: P.U.C. de los agregados	60
Gráfico 4.7: P.U.C. Agregados (Pómez Chispa)	64
Gráfico 4.9: P.U.C. Agregados (Gravilla-Arena)	65

RESUMEN

El concreto es el principal material de construcción, y actualmente se buscan alternativas que brinden sustentabilidad al mismo, sobre todo para reducir el consumo de Clinker de Cemento Portland. Así nacen los eco-materiales, y su importancia radica en el uso de subproductos de diversos procesos tecnológicos.

Estos pueden ser activados mediante procesos: químicos, térmicos y mecánicos. La cerámica cocida ha sufrido una transformación térmica y mecánica; de allí que los análisis mineralógicos confirman la existencia de compuestos reactivos capaces de reaccionar con el Clinker de Cemento Portland para obtener un cemento hidráulico de excelentes características.

Es posible entonces, disminuir el uso de Clinker de cemento Portland hasta un 30%, brindando una alternativa sustentable a esta industria.

ABSTRACT

Concrete is the main building material. Currently people are looking for alternatives to provide its sustainability, especially to reduce the consumption of Portland Cement Clinker. This is how eco-materials were born, and its importance lies in the use of products from various technological processes.

These can be activated by chemical, thermal and mechanical processes. The fired ceramic has undergone a thermal mechanical processing; hence mineralogical analyzes confirm the existence of reactive compounds capable of reacting with Portland Cement Clinker to obtain hydraulic cement of excellent features.

Therefore, it is possible to reduce the use of Portland Cement Clinker up to 30%, providing a sustainable alternative to this industry.



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

INTRODUCCION

Situación Actual: Síntomas y Causas.

La industria cementera necesita de grandes cantidades de energía en todas sus formas, siendo el principal componente en el costo de fabricación del cemento, la elaboración de clinker.

La industria del cemento genera excesivas cantidades de CO₂, pues requiere para su producción 1,23 Kw/Kg de energía.

La utilización de nuevas materias primas para la reducción del consumo de Clinker está empujando a nuevas investigaciones para elaborar productos que tengan una menor huella de carbono.

La razón de llamar a un desarrollo como Eco material es la de sustentar un alto contenido de adiciones en el cemento portland para disminuir el porcentaje de uso del Clinker.

El cemento portland es una mezcla de Clinker más otras adiciones en diferentes proporciones, que finamente molido es un producto capaz de reaccionar con el agua a temperatura ambiente y adquirir una resistencia mecánica alta.

Los eco-materiales son matrices capaces de mejorar el desempeño del cemento tradicional utilizando materiales alternativos y muchas de las veces materiales reciclados de otros procesos productivos.

La industria del cemento se enfrenta a un difícil reto: dejar de utilizar materias primas vírgenes o reducir el uso de las mismas, para utilizar subproductos de otras industrias como materias primas, actualmente se comercializan *Blended Cement* y *Slag Cement*, dos alternativas viables al cemento Portland tradicional.

Definición del Problema:

El presente trabajo tratará de encontrar un nuevo material que reemplace a la puzolana como material cementante adicional, utilizando un subproducto de otra industria (cerámica cocida) para generar un producto con alto valor agregado.

Problemas Específicos:

La Industria del cemento tiene un alto consumo de energía del orden de 800 Kcal /kg de Clinker, en consecuencia, un alto consumo de combustibles. Tiene una pérdida de cerca del 35% en masa por desprendimiento de CO₂, aparte del anhídrido carbónico generado por la combustión.

Otro problema son los materiales desechados a los rellenos sanitarios que han sufrido un proceso térmico superior a 700°C, que previo a un tratamiento físico o químico pueden ser activados y utilizados como materias primas alternativas.

Un tercer problema es la alta demanda de cemento para la construcción y una elevada deficiencia de unidades habitacionales para la población.

Objetivo General

Desarrollar un nuevo material que reemplace a la puzolana como material funcional, utilizando cerámica cocida para generar un producto con valor agregado, que cumpla con la norma INEN 2380.

Objetivos Específicos

1. Identificar los requisitos del Cemento Portland según INEN 2380.
2. Calificar la aptitud de la Cerámica Cocida.
3. Determinar las fórmulas básicas para los productos: Hormigón, Bloques y Enlucidos.
4. Aplicar las formulas obtenidas en los productos propuestos.

Justificación de la investigación

La innovación es una herramienta empleada en las grandes empresas que dedican una gran parte de su presupuesto para desarrollar un producto que realmente valga la pena comercializar.

“Los consumidores de hoy en día buscan, más que productos promedio, productos no sólo visualmente atractivos, sino también funcionales, que hagan su vida más dinámica y que ofrezcan beneficios reales, así lo expresan Michael Silverstein, Neil Fiske y Jhon Buman en su libro “*Trading Up*”.

El presente trabajo busca identificar oportunidades para nuevos productos en el mercado de la construcción, a base del uso de subproductos, enfocándose en desarrollar un producto que satisfaga las necesidades de los consumidores, para generar réditos ambientales y económicos a la empresa.

Hipótesis

El eco-cemento desarrollado a partir del uso de cerámica cocida cumple con los requisitos indicados en la norma INEN 2380.

Marco Conceptual

El cemento Portland es una mezcla de silicatos cálcicos que son capaces de desarrollar una estructura cristalina cuando reaccionan con el agua a temperatura ambiente.

El cemento portland se elabora a partir de una mezcla finamente molida de clinker, yeso y adiciones funcionales. Estas adiciones son minerales reactivos capaces de mejorar el comportamiento del cemento hidráulico.

El clinker tiene cuatro cristales amorfos completamente reactivos, siendo su tamaño el principal indicador de reactividad del clinker (menores a 10 micras). Los cristales son Silicato tricálcico, Silicato dicálcico, Aluminato tricálcico, y el ferro-aluminato tetracálcico.

Las adiciones minerales pueden ser naturales o alternativas. Las adiciones naturales son tobas volcánicas que básicamente son sílice amorfa proveniente de erupciones

volcánicas (con enfriamiento brusco), tierras de diatomeas o depósitos cálcicos de origen orgánico.

Las adiciones minerales alternativas pueden ser: arcillas calcinadas, subproductos con alto contenido de sílice como humo de sílice (industria del vidrio), *blast furnace* (ceniza de altos hornos en la fundición de metales), ceniza de cascara de arroz, entre otros.

Es importante mencionar que el hormigón es el principal material de construcción utilizado en el mundo y se lo puede considerar como un derivado del cemento Portland. Sin embargo, la durabilidad del hormigón es muy reducida debido a la exposición a agentes corrosivos que se encuentran en el medio ambiente, en consecuencia las reparaciones son necesarias y frecuentes.

Así que la búsqueda de nuevos materiales que disminuyan este impacto es fundamental para la sostenibilidad de la industria de la construcción.

El conocimiento de las reacciones que tienen lugar en el fraguado y posterior endurecimiento del cemento Portland en el concreto, hace posible el estudio de nuevos materiales que contengan sílice amorfa reactiva, y que pueden ser utilizados como adiciones minerales para formar nuevos cementos hidráulicos.

El Eco cemento propuesto es un material adicionado con un subproducto, que tiene una alta cantidad de sílice y ha sufrido un proceso térmico de 900°C. Este material finamente molido conjuntamente con Clinker, constituye un cemento hidráulico de altas prestaciones mecánicas.

El método investigativo utilizado en el presente estudio es el método lógico deductivo, porque se partió de un conocimiento general, para descubrir la utilidad del material propuesto, además se incluye en el presente estudio el uso del método experimental mediante la técnica de diseño de experimentos.

CAPITULO I

El Banco Central del Ecuador en su informe correspondiente al año dos mil diez concluye que el sector de la construcción es el cuarto en importancia en la economía ecuatoriana con un aporte del diez por ciento del Producto Interno Bruto; con un crecimiento anual cercano al seis por ciento en los últimos cinco años, el mercado del Cemento Portland en el Ecuador bordea los seis millones de toneladas anuales.

El reto actual de la industria del Cemento Portland es encontrar el equilibrio sustentable. De estudios realizados en este campo un tema clave es la optimización de los recursos y en este sentido se han estudiado desde hace algunos años atrás la utilización de adiciones minerales funcionales que implican mejoras sustanciales en el comportamiento del hormigón.

1.1. **Proceso de Fabricación del Cemento Portland.**

El proceso de fabricación de Cemento Portland consta de cuatro fases principales, iniciando con la dosificación de materias primas que normalmente son: Clinker, Yeso y Adición Mineral, el segundo paso es la molienda de los materiales descritos, seguido por la separación de materiales finos y gruesos; los finos se almacenan en silos, siendo este material el producto final, llamado cemento portland.

El rol que cumple cada materia prima se describe a continuación: El clinker, es el material que brinda los silicatos cálcicos responsables del fraguado y resistencia ulterior en el mortero y hormigón. El yeso, es el responsable de dar la manejabilidad del cemento, mientras que la estabilidad del cemento a lo largo del tiempo se da por la adición mineral.

El Eco Cemento que se obtendrá estará integrado por clinker, yeso y cerámica cocida como adición mineral funcional.

1.2. Principales características del cemento.

En la norma Ecuatoriana INEN NTE151 se encuentra definido el Cemento Portland como sigue: “Cemento Hidráulico producido por pulverización de clinker, consistente esencialmente de silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos y que usualmente contiene una o más de los siguientes elementos: agua, sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso.”

Además en la misma norma, consta la definición de cemento hidráulico compuesto que dice “Cemento hidráulico consistente en dos o más compuestos inorgánicos (uno de los cuales, por lo menos, no es cemento portland o clinker de cemento portland), los cuales separadamente o en combinación contribuyen a mejorar las propiedades de resistencia del cemento (producido con o sin otros constituyentes, adiciones de proceso y adiciones funcionales, por molido conjunto u otra mezcla)”.

En ambas definiciones se establecen los fundamentos de trabajo del cemento portland así como su evolución, cemento compuesto.

La norma INEN NTE 2380 especifica las características de desempeño, que debe tener el cemento para su utilización en hormigones, considerando al concreto como un material compuesto formado por cemento, agua, aire, aditivos y agregados.

Entre las características que el cemento debe cumplir para su mejor desempeño están: el fraguado, la resistencia a la compresión y la expansión en autoclave y en barra de mortero.

1.3. Ensayos básicos para su análisis y control: Tiempo de fraguado, resistencia a la Compresión, Finura, Expansión en la barra de mortero.

1.3.1. Tiempo de Fraguado

El fraguado es un proceso físico químico, que se da por la interacción entre el agua y el cemento.

Según Taylor (1990), quien presenta el concepto de “punto de cohesión” para explicar el proceso de fraguado, indica que las capas externas a los granos de cemento se unen a través de un gel y este forma un solo cuerpo, en donde existe una estrecha relación entre el fraguado y la resistencia posterior que obtiene el concreto endurecido.

El cemento está formado por compuestos altamente reactivos. El Clinker aporta con sus cuatro cristales principales que son: el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el ferro aluminato tetra cálcico. El sulfato cálcico di hidratado proviene del yeso y la sílice reactiva de la adición mineral.

Cuando el cemento está en contacto con el agua, se producen algunas reacciones que suceden en diferentes etapas. El primer cristal que reacciona con el agua es el aluminato tricálcico, seguido por el silicato tricálcico y dicálcico, finalmente los cristales ferro aluminatos cálcicos.

El fraguado ocurre con una rápida hidratación de los cristales, en donde se genera una importante cantidad de calor, en esta etapa el yeso se descompone en un cristal llamado etringita; el proceso continúa con una etapa de aletargamiento de la reacción y esta es la responsable de la manejabilidad del concreto fresco. La etringita se desintegra para dar paso a un compuesto más estable, el monosulfato de aluminio, mientras que las fases ferrita y aluminato reaccionan al final para contribuir a la producción de gel de cemento.

El fraguado normal depende directamente de las reacciones del silicato tricálcico, y existe evidencia de que las relaciones entre la pasta de cemento y el silicato tricálcico y entre el fraguado y el tamaño del grano del silicato tricálcico influyen en el comportamiento y desempeño del cemento en las resistencias alcanzadas a edades maduras.

Los cementos adicionados con materiales reactivos demuestran un mejor comportamiento al disminuir los tiempos de fraguado (inicial y final), aumentando la resistencia a la compresión y reduciendo la expansión del concreto.

1.3.2. Resistencia a la compresión

La belita y alita, (silicato tricálcico y dicálcico), tienen comportamientos similares al brindar al cemento la resistencia a la compresión. La belita contribuye a la resistencia del concreto en los primeros días mientras que la alita es la responsable del incremento a edades superiores a 28 días, aunque según estudios, el silicato dicálcico y tricálcico tienen comportamientos similares a edades mayores a 90 días.

La resistencia a la compresión depende de dos factores la composición química del cemento y la finura del mismo.

Los granos de belita mayores a 15 micras no tienen ninguna injerencia en el desempeño del concreto a edades mayores de 28 días, y se ha encontrado que partículas menores a 10 micras se han hidratado completamente, por lo que se puede generalizar que los cristales del clinker en el cemento portland deben ser menores a 10 micras.

La resistencia de los concretos y de los morteros depende también de las relaciones de agua cemento, por este motivo se establece en las normas como un estándar iniciar la preparación de las mezclas con una relación agua cemento (a/c) igual a 0.485, o con flujos de mezcla de 110+-5 mm, para ensayos en laboratorio.

Es fundamental, encontrar el contenido de yeso óptimo, porque con él se disminuye el tiempo de fraguado e incrementa la resistencia a la compresión, así como también mejora la estabilidad del volumen del concreto.

1.3.3. Finura

La finura del cemento es muy importante para el desempeño del fraguado y de la resistencia a la compresión

La cinética de la reacción en el fenómeno de fraguado es directamente proporcional al tamaño de la partícula, mientras mayor es el grano más tiempo se demora el fraguado. Como se había mencionado antes los granos de cemento deben ser de

tamaños menores a 15 micras y no se debe confundir con el tamaño del cristal del Clinker que también debe ser menor a 10 micras para lograr su total hidratación.

1.3.4. Ensayos de Durabilidad del cemento: Pruebas en Autoclave y por inmersión en agua.

Las pruebas de estabilidad del cemento hidratado son fundamentales para determinar su desempeño, la durabilidad del cemento está sometida a dos ensayos.

El primero, es el de determinar la expansión por medio del autoclave, este ensayo se basa en la hidratación futura que tendrá el contenido de hidróxido de calcio y del óxido de magnesio, presentes en el cemento.

Durante el proceso de fabricación del clinker una porción del óxido de calcio no reacciona y permanece libre, este óxido se determina en el clinker como cal libre u óxido de calcio libre, este compuesto puede reaccionar con la presencia de sílice (adición mineral), pero el exceso de cal en el producto final puede llegar a detener el proceso de fraguado, disminuir la resistencia y ocasionar grietas en el concreto endurecido, además su presencia ayuda a la carbonatación del concreto.

En el caso del óxido de magnesio, su presencia incide en la destrucción del concreto endurecido, porque el cristal de periclase es de mayor tamaño de los silicatos hidratados, dando lugar a un colapso de la estructura. Por esta razón se tolera hasta un máximo del 6% según la norma INEN NTE 2380.

El segundo ensayo es el de determinar la resistencia del cemento a la acción de sulfatos, puesto que su exceso provoca la presencia del ion sulfato que es altamente reactivo con los álcalis presentes en los áridos, lo que provoca una destrucción total de la estructura de concreto.

CAPITULO II

2. Los requisitos del Cemento Portland según INEN 2380.

La norma 2380 tiene una clasificación de cementos dependiendo de su destino final, de esta categorización se escogerá para el análisis el tipo GU, siendo su definición “Cemento Hidráulico para construcción en general. Se lo debe utilizar cuando no se requieren uno o más de los tipos especiales”.

Los requisitos que están descritos en la norma se muestran a continuación:

Tabla 2.1. Requisitos físicos normalizados

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % max	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^B Inicial, no menos de, minutos Inicial, no más de, minutos	INEN 158	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420	45 420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a la compresión, mínimo MPa ^D 1 día 3 días 7 días 28 días	INEN 488	-- 13 20 28	10 17 -- --	-- 11 18 --	-- 11 18 25	-- 5 11 --	-- -- 11 21
Calor de hidratación 7 días, máx, kJ/kg (kcal/kg) 28 días, máx, kJ/kg (kcal/kg)	INEN 199	-- --	-- --	-- --	-- --	290 (70)	250 (60) 290 (70)
Expansión en barra de mortero 14 días, % max	NTE INEN 2 529	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^E 6 meses, % max. 1 año, % max	INEN 2 503	-- --	-- --	0,10 --	0,05 0,10	-- --	-- --

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN NTE 2380

2.1. Requisitos Físicos obligatorios: Finura, Tiempo de fraguado, Resistencia a la Compresión, Calor de Hidratación, Expansión en barra de Mortero, Expansión por sulfatos

2.1.1. Finura

La finura del cemento se expresa en términos de superficie específica, expresada como el área total de la superficie en centímetros cuadrados por gramo, para su determinación se utiliza el aparato de Blaine de permeabilidad al aire.

El área específica es función de la porosidad que tiene dicho material en una cantidad de masa determinada, por tanto el cemento tiene una finura que es dependiente de los poros que dejan las partículas cuando forman una capa compacta, y la unidad de medida es la velocidad de paso del aire por dicha capa.

A continuación se muestra el procedimiento reglamentario para determinar la finura del cemento expresada como área específica.

Para determinar la finura de la muestra de cemento, se realizan ciertos cálculos, primero debemos conocer el volumen aparente del cemento que cabe en la celda del aparato de Blaine, y para ello utilizamos cemento patrón y mercurio

La masa de la celda se fija con el siguiente cálculo:

$$W = \delta \frac{(W_{Hg} - W_{cto})}{D} (1 - \varepsilon)$$

Siendo W= la masa de cemento en la celda, (en gramos)

δ = densidad del cemento (3.15).

ε = porosidad del cemento (0.5).

W_{Hg} = el peso en gramos de mercurio para llenar la celda.

W_{cto} = el peso en gramos de mercurio para completar la celda, luego de colocar el cemento.

D= densidad del mercurio.

Finalmente se debe fijar la superficie especifica del cemento

$$S = \frac{S_s \sqrt{T}}{\sqrt{T_s}}$$

En donde:

S= la superficie especifica, g/cm²

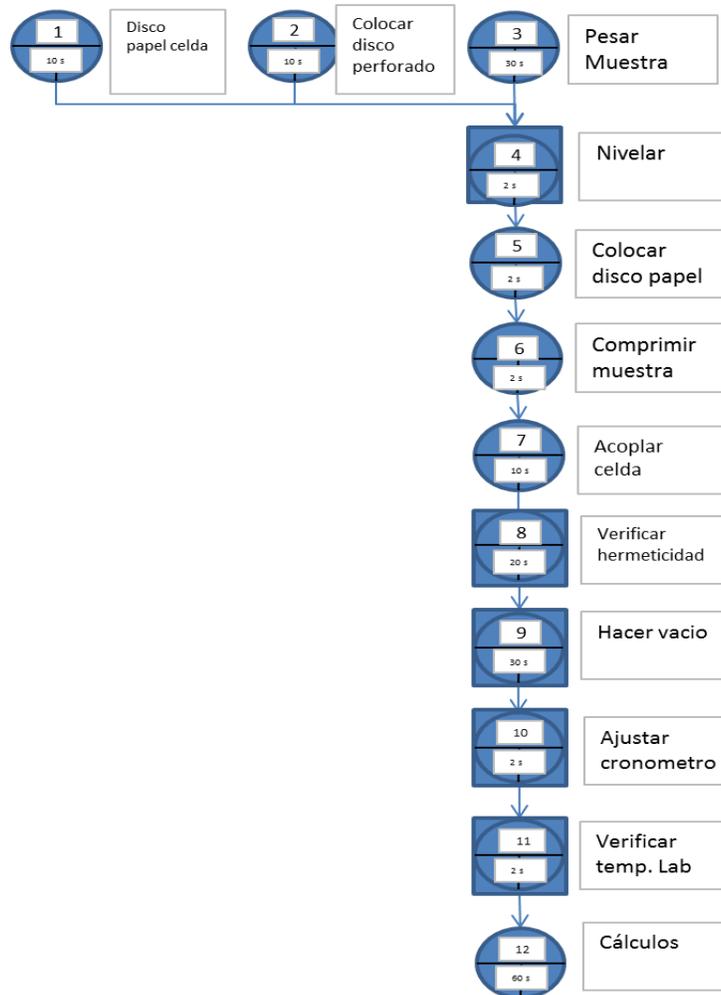
S_s= superficie especifica del cemento patron

T_s= tiempo del ensayo realizado con el cemento patron

T= tiempo del ensayo realizado con la muestra de cemento.

El procedimiento esta a continuaci3n:

Grafico 2.2: Procedimiento para determinar la finura



Fuente: Norma NTE INEN 156, Ing. Ivor Inga Ch.

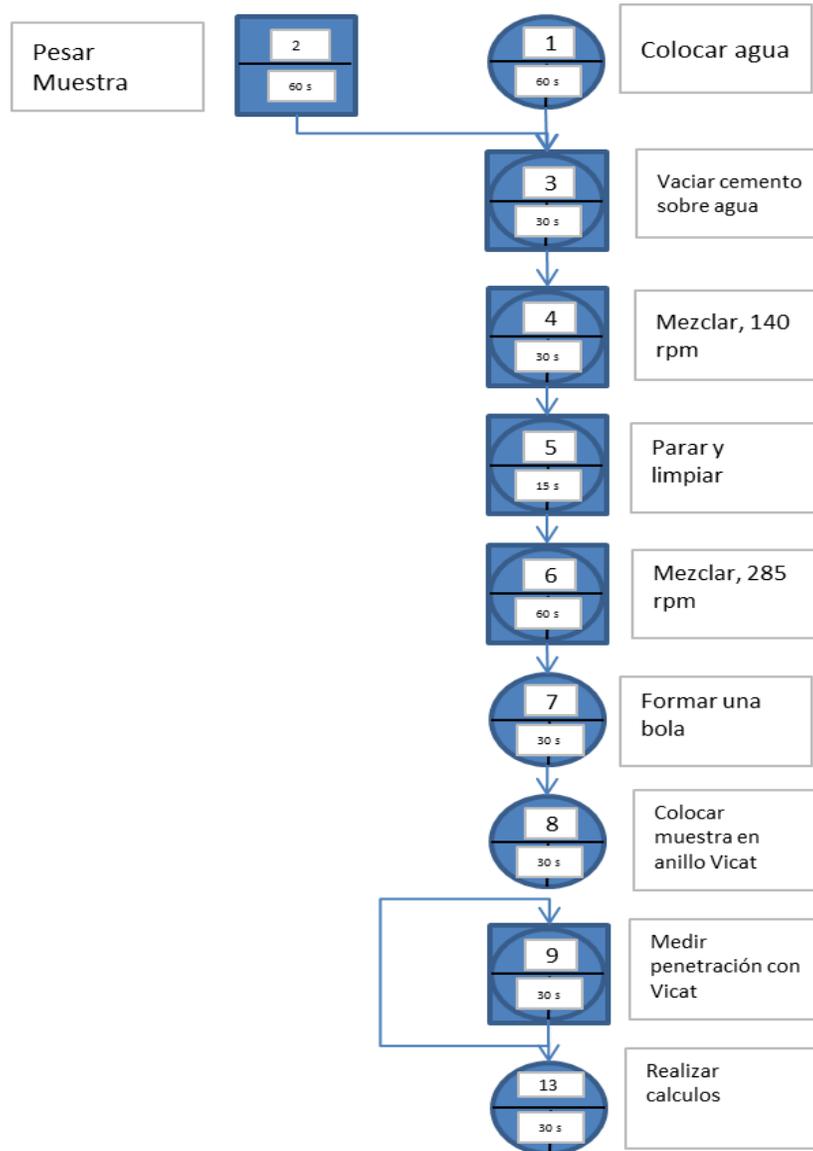
2.1.2. Tiempo de fraguado

En la norma NTE INEN 158 consta la definición de tiempo de fraguado como: “La determinación de los tiempos de fraguado Vicat se realiza en pastas de cemento hidráulico de consistencia normal, preparadas de acuerdo a la NTE INEN 157 las que se mantienen en un cuarto de curado donde inicia el proceso de fraguado”. Se realizan penetraciones periódicas en la pasta utilizando la aguja de Vicat de 1 mm de diámetro.

El tiempo de fraguado inicial Vicat es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la penetración medida o calculada es de 25 mm.

El tiempo de fraguado final Vicat, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la aguja no deja una impresión circular en la superficie de la pasta.

Gráfico 2.3: Procedimiento para determinar el fraguado



Fuente: Norma INEN NTE 158; Ing. Ivor Inga Chacón

Para el cálculo del tiempo de fraguado se utiliza la siguiente fórmula:

$$Tiempo\ fraguado = \left(\left(\frac{H - E}{C - D} \right) \times (C - 25) \right) + E$$

De donde:

H= tiempo min penetración menor a 25min

E= tiempo (min) penetración mayor a 25 min

C= lectura al tiempo E

D= lectura al tiempo C

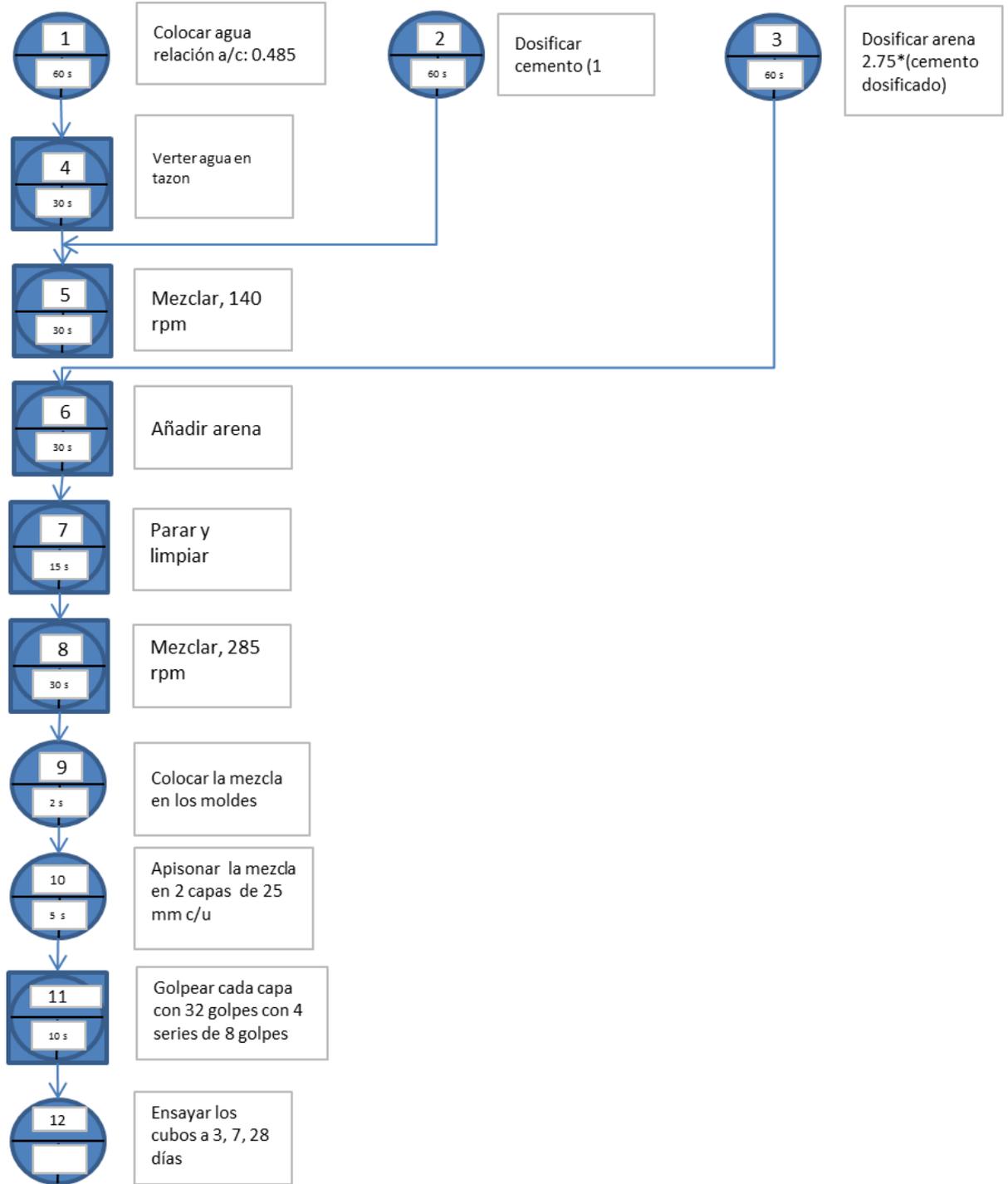
2.1.3. Resistencia a la compresión

El mortero utilizado consiste de una parte de cemento y 2.75 partes de arena, dosificados en masa. La cantidad de agua se parte de la relación a/c igual a 0.485. El contenido de agua para otros ensayos debe ser tal que produzca en la mesa de flujo una fluidez de 110 +- 5 mm en 25 caídas.

Los cubos de ensayo de 50 mm son compactados por apisonado en dos capas, con 32 golpes en cada capa con series de ocho golpes cada una en sentido perpendicular a la anterior. Los cubos son curados un día en sus moldes y luego desencofrados y sumergidos en agua saturada con cal hasta ser ensayados, mediante la aplicación de una carga progresiva de compresión, para determinar su resistencia máxima.

El procedimiento de este ensayo se muestra a continuación:

Grafico 2.4: Resistencia a la compresión, según norma INEN 488



Fuente: INEN NTE 2502, Ing. Ivor Inga Chacón.

2.1.4. Calor de hidratación

El calor de hidratación es un parámetro que se utiliza cuando el cliente va a realizar hormigones en grandes cantidades, la norma a esta circunstancia lo llama “hormigón masivo”, la importancia radica en establecer la temperatura que generará el concreto en dicha obra para evitar fisuras por contracción. Este ensayo mide la generación de calor en solución de cemento seco y el calor generado en cemento hidratado. La norma 2380 no implanta ningún valor para este ensayo, motivo por el cual no se realizarán determinaciones de este ensayo.

2.1.5. Expansión en la barra de mortero

Las normas sobre expansión en cemento son dos la primera la INEN 200 y la segunda la INEN 2529.

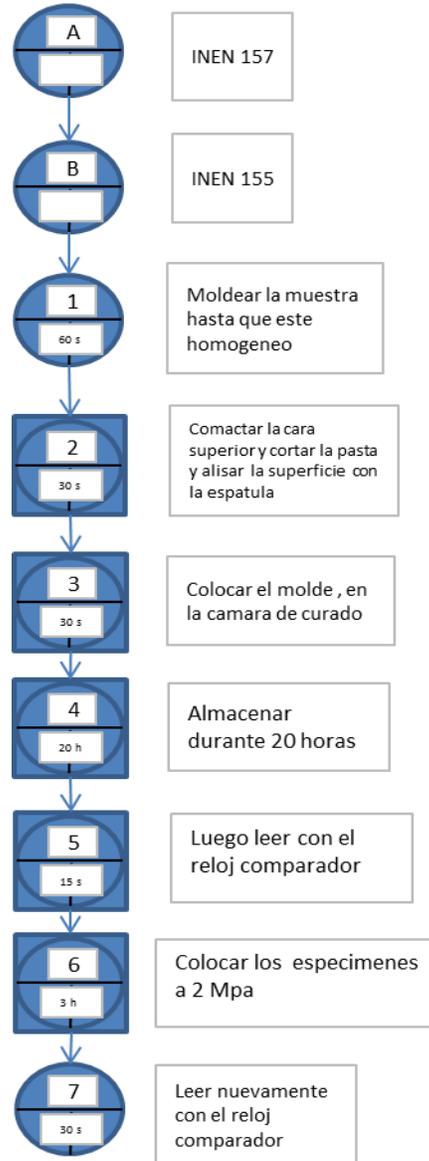
La primera consiste en determinar la dilatación en autoclave que provee un índice de expansión potencial retardada causada por la hidratación del Oxido de Calcio y del Oxido de Magnesio, o ambos. Además existe presencia de sílice reactiva en forma de cuarzo que tiene afinidad por los álcalis provocando una reacción adversa para el concreto llamada “reacción álcalis sílice”.

Para determinar la expansión del cemento hidráulico se elabora una barra de longitud conocida y se cura por 20 horas, a las 24 horas se mide la longitud. Se muestra el procedimiento en el gráfico 2.5.

La segunda es la INEN 2529, esta norma es utilizada para determinar la expansión de una barra de mortero cuando se almacena en agua, y esta expansión es causada por la cantidad excesiva de sulfatos en el cemento.

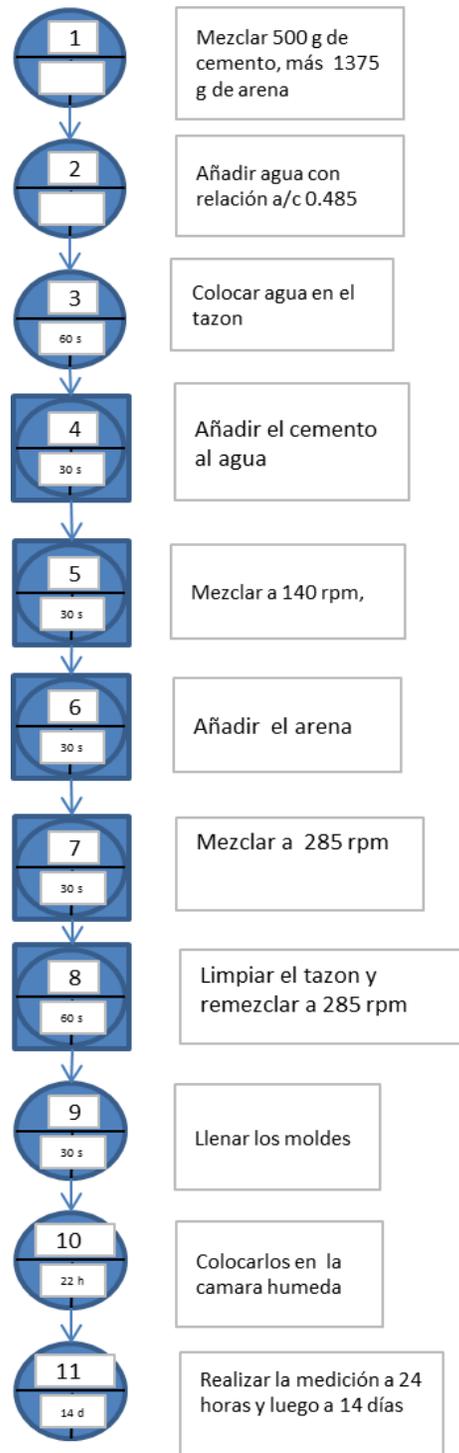
Y el procedimiento para la norma 2529 se muestra en el gráfico 2.6

Grafico 2.5: Determinación de la expansión en autoclave según INEN NTE 200



Fuente: INEN NTE 200, Ing. Ivor Inga Chacón.

Grafico 2.6: Determinación de la Expansión de barra de mortero de cemento hidráulico almacenadas en agua, (INEN 2529)



Fuente: INEN NTE 2529, Ing. Ivor Inga Chacón

El cemento portland es el componente principal en la fabricación de hormigón, considérese como principal por su aporte ligante entre la matriz que compone el concreto, más no por ser mayoritario entre ellos, se considera que el cemento en porcentaje no debe estar más allá del 30% de la mezcla total.

Se debe tener en cuenta que el hormigón al ser un material compuesto está expuesto a muchos ataques químicos medioambientales, por tanto es necesario como ya se mencionó en el capítulo anterior ensayos que demuestren la durabilidad del cemento ante estos ataques, ya sea propio o externo.

Por tanto es necesario realizar un estudio de la cantidad de sulfato como SO₃ en la mezcla original del cemento: clinker más yeso, este aspecto ha sido estudiado y se ha determinado un procedimiento estándar para determinar la cantidad optima de SO₃ en el cemento para ello se utiliza la norma INEN 1505, en donde se establece esta cantidad como la responsable de aumentar la resistencia a 24 horas al sustituir un porcentaje de yeso por cemento OPC (cemento portland ordinario, por su siglas en inglés).

La norma establece que deben ser tres mezclas de mortero de cemento uno sin adición de yeso y las otras dos con una sustitución mínima de yeso.

Tabla 2.6: Mezclas patrón según INEN 1505

Materiales	Mezcla No 1	Mezcla No 2	Mezcla No 3
Cemento (g)	500	494.6	489.2
Sulfato de Calcio (g)	0	5.3	10.6
Arena graduada normalizada (g)	1375	1375	1375

Fuente: Instituto Ecuatoriano de normalización, INEN 1505

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$G = \left[\frac{a}{(a - b)} \right] c + d + \frac{c}{2}$$

Para esta fórmula

G= es el contenido óptimo de SO₃

\bar{a} = promedio de resistencias de las dos rondas de Mezcla 2 menos el promedio de la resistencia de las dos rondas de la mezcla 1

\bar{b} = promedio de resistencias de las dos rondas de la mezcla 3 menos el promedio de resistencias de las dos rondas de la mezcla 2.

\bar{c} = porcentaje de SO_3 en el sulfato de calcio

\bar{d} =porcentaje de SO_3 en el cemento ensayado

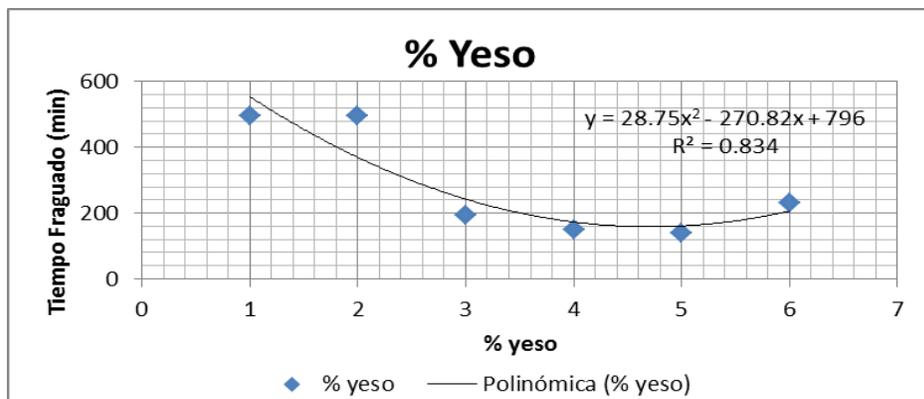
Sin embargo este método considera intervalos entre las resistencias de las mezclas patrones a y b con los siguientes valores $0.5 < a/b > 2$, si el ensayo no se cumple en dichos intervalos no conlleva ninguna acción posterior.

Otro método no refrendado es el de incrementar la dosis de yeso en una mezcla de OPC, en donde el valor óptimo es aquella mezcla que brinda el menor tiempo de fraguado, debido a que en este valor la cantidad de yeso forma la mínima cantidad de etringita en el proceso de fraguado.

Con este método también es posible determinar la mayor resistencia a la compresión a 24 horas.

En tal virtud es posible realizar una serie de ensayos para determinar el porcentaje óptimo de yeso, y los resultados de este primer ensayo se muestran a continuación.

Grafico 2.8: Porcentaje Optimo de Yeso



Fuente: Ing. Ivor Inga Ch.

Se utiliza la herramienta estadística del diseño de experimentos para estudiar como modificar las condiciones normales de realización de un proceso empírico y aumentar así la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta. Se genera así un mejor conocimiento sobre el proceso en estudio.

Una vez realizado el experimento se debe calcular el valor de contraste (F_c) que representa la relación entre la variación media cuadrática de las diferencias entre las observaciones debida a los tratamientos, y la variación media cuadrática debido a los ruidos (errores)

Este es el resultado numérico del ANDEVA (ANOVA en inglés) y en él se resume la información que nos proporciona el experimento: el grado en que la variable independiente (supuesta causa) influye sobre los valores de la variable dependiente (efecto en estudios).

Si el F_c es menor a 1, significa que los factores extraños influyen sobre el valor de la variable dependiente de manera más determinante que los tratamientos. Esto quiere decir que la relevancia de nuestra variable no es muy elevada y posiblemente no hemos identificado la causa principal.

Si el F_c es mayor a 1, los tratamientos proporcionados son efectivamente el factor que mayor influencia tiene sobre la variable dependiente. Esto significa que se ha identificado la causa determinante para la variación de la característica medida.

Como las observaciones (experimentos) realizados son una muestra del total de probabilidades que se pueden realizar, y como la muestra no siempre representa al total del universo, es necesario entonces aceptarla solo si con ayuda de la estadística esta corresponde al 95% de probabilidad de serlo efectivamente, lo que se establecerá de la siguiente manera:

Se calcula $(t-1)$ y $(N-t)$, en donde t son los tratamientos y N las observaciones (experimentos) realizados, y luego leer en la tabla de valores F para un nivel de seguridad el correspondiente de F .

Se tendrá la seguridad de que el experimento cuenta con el 95% de probabilidad cuando F_c sea mayor a F , en donde la variable independiente influye significativamente sobre la variable dependiente, y hemos comprobado la hipótesis inicial.

A partir de los resultados obtenidos se procede a efectuar un nuevo ensayo utilizando ahora la metodología del diseño de experimentos, con las siguientes características.

Para esta prueba definiremos los parámetros de estudio como sigue:

- Hipótesis: Que porcentaje de adición de yeso se obtendrá el menor tiempo de fraguado.
- Variable independiente: El porcentaje de adición de yeso.
- Tratamientos: Se plantea tres tratamientos con diferentes porcentajes de yeso, desde 4 hasta 6% con intervalos de 1%
- Repeticiones: Se harán tres repeticiones
- Sujetos de medida: Pasta de consistencia normal según INEN 157
- Aleatorio: NO aplica por que se realiza el experimento con asignación de ensayos.
- Ruido: Se considera como ruido a la finura, y a la temperatura del laboratorio, la primera se mantendrá en promedio 15.67 ± 3 micras; mientras que la temperatura del laboratorio está a $20^\circ\text{C} \pm .3^\circ\text{C}$.

Con estos parámetros se obtienen los siguientes valores

Tabla 2.9: Ruido en ensayo de Yeso Optimo

Ruido	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Finura	15.62	14.73	16.64	17.33	16.63	16.28
Temperatura laboratorio	19.9	20.1	20.2	20	19.9	20.5
% SO3	0.88	1.1	1.3	1.53	1.76	2.02

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Los tratamientos, están nombrados como 1,2 hasta 6, mientras que las repeticiones son R1, R2 y R3. Los datos obtenidos en los ensayos son los que se muestran en el grafico 2.9.

Tabla 2.10: Repeticiones

# Tratamientos	Repeticiones		
	R1	R2	R3
T1	315	440	350
T2	30	370	10
T3	120	12	120
T4	130	120	110
T5	135	125	135
T6	200	306	150

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón,

Con las repeticiones y los tratamientos, se realiza el tratamiento Andeva, y los datos son los siguientes:

Tabla 2.11: Tratamientos previos.

Tratamientos	Repeticiones			$(\sum y)$	(y^2)	$\sum(y^2)$
	1	2	3			
1	315	370	350	1035	1071225	358625
2	24	90	13	127	16129	8845
3	120	120	120	360	129600	43200
4	130	125	110	365	133225	44625
5	135	165	135	435	189225	63675
6	200	306	150	656	430336	156136
Repeticiones	3		Total	2978		675106
Tratamientos	6		(T^2)	8868484		
Número de Experimentos	18					

Fuente: Ing. Ivor Inga Ch.

Los valores intermedios A y B, tienen los siguientes valores A igual a 656580 y B es igual 492693.56. Los cálculos de los cuadrados están a continuación:

Tabla 2.12: Valores cuadráticos.

	Suma de Cuadrados		Media Cuadrática	
Tratamientos	SCI	163886	MCI	32777
Error	SCE	18526	MCE	1544
Total	SCT	182412		

Fuente: Ing. Ivor Inga Ch.

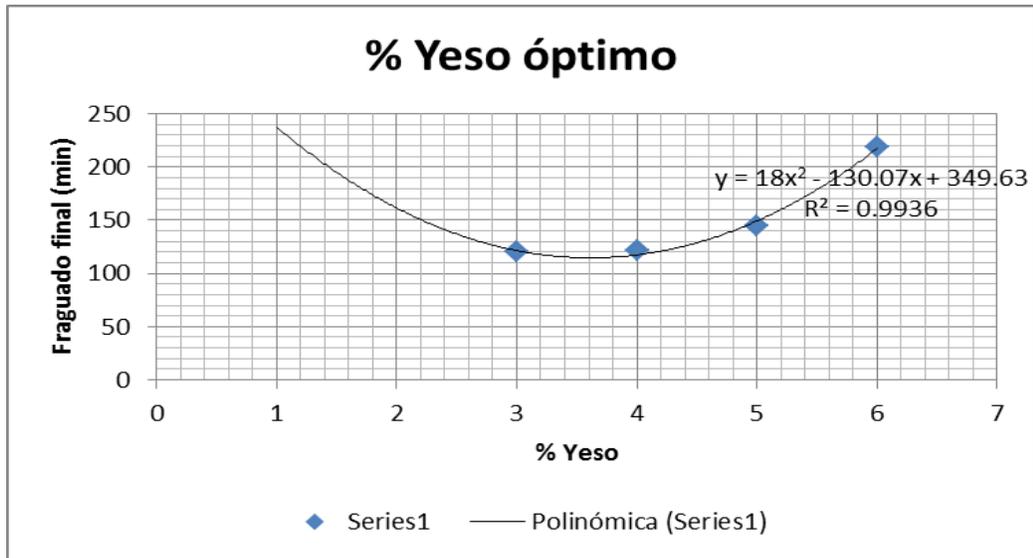
Con estos datos se calcula el factor de contraste y este valor es de 21.23, como el factor de contraste es mayor a uno, se puede decir que la variable en estudio es efectivamente la variable que más influye en el experimento.

Ahora es necesario comparar el valor de F, para un nivel de seguridad, contra el valor de contraste, el valor encontrado es 3.11 (t-1 igual a 5 y N-t es igual a 12).

Como el valor de contraste (F_c) es mayor que F (nivel de seguridad), la variable independiente del experimento es con 95% de probabilidad la causa principal del objeto de estudio.

Con este procedimiento es posible aceptar que el porcentaje óptimo de yeso en OPC es de 4.5%, según se muestra en la gráfica.

Grafico 2.13: Porcentaje Óptimo de Yeso en OPC



Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Por tanto el cemento patrón está compuesto por clinker, yeso, en una proporción de 96% de clinker y 4% de yeso.

Con esta mezcla se obtienen los datos de partida del Cemento OPC, los mismos que se muestran a continuación:

Tabla 2.14: Comparación entre Norma 2380 y Cemento Patrón.

Ensayo	Unidades	NORMA 2380 Tipo GU	CTO- 0
Finura	μm	.-.	14.34
	g/cm ²	.-.	4800
Fraguado			
Inicial	Min	45	180
Final	Min	420	263
Resistencia a la compresión			
1 día	MPa		8
3 días	MPa	13	13.4
7 días	MPa	20	30.3
28 días	MPa	28	44.9
Calor de hidratación	KJ/kg	.-.	.-.
Expansión a la barra de mortero	% max	0.02	0.012

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón

CAPITULO III

3. Calificación de la aptitud de la Cerámica Cocida.

El proceso de elaboración de baldosas cerámicas, consta de las siguientes etapas: preparación de la pasta, conformado de la pieza, esmaltado, decoración y finalmente la cocción

Las baldosas son materiales impermeables, compuestos por dos partes: el cuerpo que tiene base arcillosa con porosidad variable y un recubrimiento de carácter vítreo. Existen diversas clasificaciones de baldosas tanto por su uso final (paredes o pisos), como por su matriz (arcillas rojas o blancas).

La pasta está constituida por arcillas plásticas, cuarzosas y feldespáticas. Entre ellas forman el bizcocho, que al ser quemado, forma un cuerpo vitrificado, siendo este el material base para el presente estudio.

La pasta con arcilla roja puede ser destinada a cocción monoquema y biquema. El proceso de cocción de monoquema sirve para hacer una baldosa de alta absorción (mayor a 10%) de agua que puede ser utilizado en paredes, mientras que la biquema está destinada a realizar una baldosa de mediana absorción (6 a 10 %) asignada a pisos de mediano y alto tráfico.

3.1. Activación mecánica y térmica de la cerámica cocida

Las adiciones funcionales del cemento pueden ser naturales como artificiales, estas últimas se pueden considerar como puzolánicas siempre y cuando cumplan con ciertas características como reactividad, medida como índice de actividad puzolánica, composición química y mineralógica, además de la finura.

Una puzolana artificial se puede activar mediante tres procesos, siendo estos: activación térmica, mecánica y química. La activación mecánica se genera a través de la molienda fina del material, según Malhotra (1996), los materiales funcionales

brindan sus propiedades al cemento por la finura, la forma de la partícula, la textura de ellas y la composición química. La finura del material por recomendación de Salazar (2009) debe ser menor a 15 micras en tamaño promedio.

Para determinar la capacidad de molienda de la cerámica, se realizó un tratamiento previo en donde el total del material tiene tamaño menor a 25mm. El tiempo de molienda, se estableció utilizando un molino de trescientos centímetros cúbicos de capacidad con los siguientes parámetros: Número de vueltas reales con 43 revoluciones por minuto (rpm) y un número de vueltas críticas de 37.2 rpm.

La carga de material utilizada en esta prueba fue de 27 kilogramos. El grado de llenado del molino fue del 30%, las dimensiones del molino son 74 cm de diámetro, 69 cm de longitud, la carga de bolas fue de 200 kg repartidos en bolas de acero con diámetros de 38 mm, 30mm, 27mm, 24mm.

De acuerdo al ensayo, se determina que el material necesitó 45 minutos para llegar a la finura necesaria de 14.32 micras.

Los datos se recopilan en los siguientes gráficos:

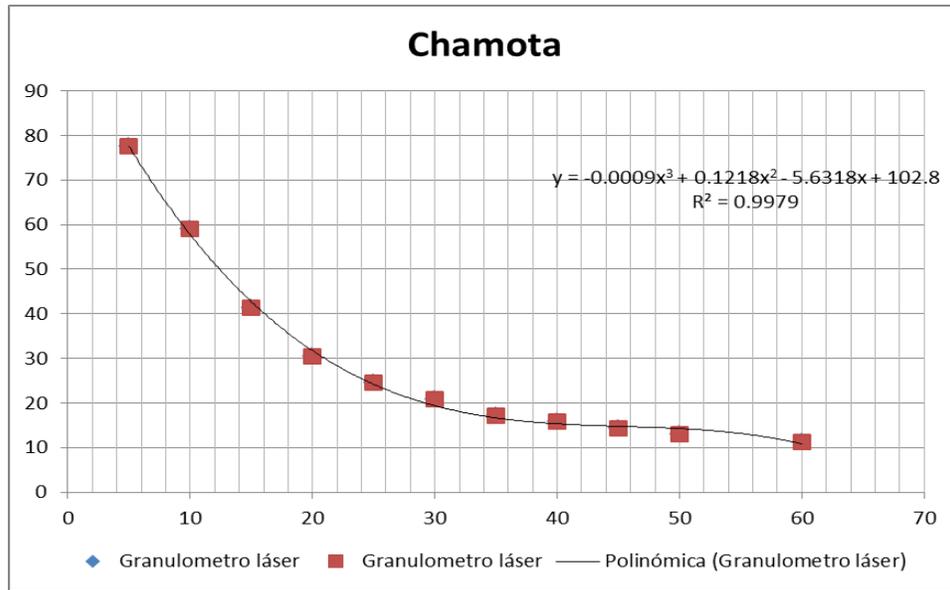
Tabla 3.1: Distribución de cuerpos moledores

Tamaño de Cuerpos Moledores (mm)	Cantidad (Kg)	%
38	14	7
30	26	13
27	60	30
24	100	50%
Total	200	

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón

Con los datos obtenidos se construye el gráfico 3.2: Tiempo de molienda óptimo; en donde se observa la disminución de tamaño de partícula en función del tiempo, así podemos concluir que la cerámica es posible triturarla en 45 minutos.

Gráfico 3.2: Tiempo de molienda óptimo



Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón

3.2. Análisis químico de la cerámica.

La adición mineral o puzolana, constituyente del Cemento Portland, es muy importante en el desempeño del mismo. Las puzolanas pueden ser naturales o artificiales, las naturales deben su reactividad a la presencia de silico aluminatos, que son vidrios reactivos provenientes de las cenizas volcánicas. Mientras que las artificiales deben su reactividad además de los compuestos químicos antes mencionados a la finura que poseen (tamaño de partícula inferior a 15 micras).

Los compuestos reactivos, se pueden determinar con la ayuda de dos ensayos, el primero es analizar su composición química y el otro es establecer su estructura mineralógica.

La técnica de laboratorio utilizada para analizar la composición química del material, fue la refractometría por rayos X, con un equipo de energía dispersa, de 1 Kv A. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 3.3: Análisis Químico de Cerámica Molida

SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	CaO (%)	Fe₂O₃ (%)	Na₂O (%)	K₂O (%)	MgO (%)
57.7	16.42	7.64	6.2	2.32	1.78	1.59
TiO₂ (%)	SO₃ (%)	P₂O₅ (%)	ZrO₂ (%)	BaO (%)	ZnO (%)	Cl (%)
0.65	0.52	0.3	0.30%	0.25	0.23%	0.2
MnO (%)	SrO (%)	Sc₂O₃ (%)	Rb₂O	CuO	NiO	
0.11	0.04%	0.02	71 PPM	33 PPM	23 PPM	

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con la información química, se identificó que el material tiene en su composición sílice y aluminio en altas cantidades por lo que se procede a realizar el segundo ensayo.

El material en estudio, es una puzolana artificial, y para corroborarlo, se debe estudiar su composición mineralógica. Según Malhotra (1996) los minerales como el cuarzo, la magnetita y otros compuestos silicios, no son reactivos o no presentan propiedades puzolánicas, sin embargo un material puede adquirir reactividad puzolánica por la unión de dos factores: superficie específica y material amorfo; la primera depende de la finura; mientras más fino el material mayor superficie específica tendrá, y el material amorfo dependerá del tratamiento térmico y posterior enfriamiento al cual fue sometido.

La composición mineralógica, fue determinada mediante un análisis de difracción por rayos X. el goniómetro tuvo un barrido desde 5 hasta 99.97° para el ángulo 2Theta, con una temperatura de 25°C, y un escaneo de 40 mA hasta 45 Kv.

Los resultados se muestran a continuación:

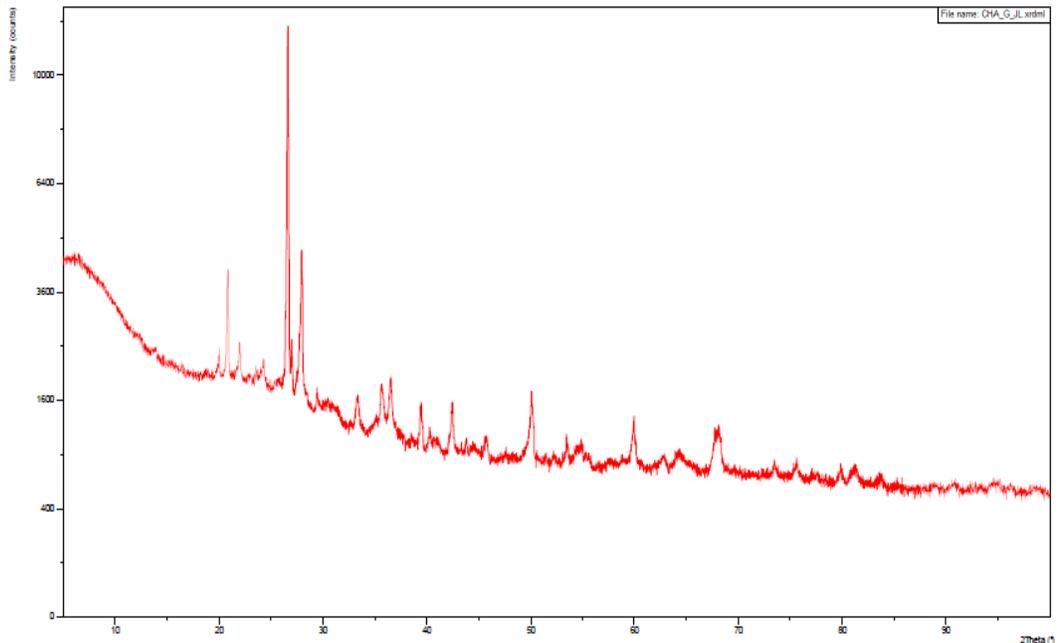
Tabla 3.4: Resultados de Difracción de Cerámica Cocida

Ref Code	Compuesto	Scale Factor	Chemical Formula	Cuantificacion	Score
01-070-3755	Quartz	0.978	SiO ₂	Mayoritaria	79
00-029-0085	Silicon Oxide	0.06	SiO ₂	Importante	45
00-052-1344	Calcium Aluminium Silicate	0.237	Ca _{0.88} Al _{0.12} Si _{2.23} O ₈	Minoritaria	26
01-082-1572	Silicon Dioxide	0.126	SiO ₂	Minoritaria	10
01-076-0956	Iron diiron (III) oxide, Magnetite	0.026	Fe ₃ O ₄	Minoritaria	10

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

El difractograma obtenido del análisis realizado al material en estudio se muestra a continuación:

Gráfico 3.5: Difractograma de Cerámica Cocida



Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

La cerámica cocida tiene una gran cantidad de material amorfo, porque el ruido de fondo es muy grande en área, sobre los 400 Kilo cuentas por segundo (Kcs), y además existe en su composición mineralógica silico aluminatos cálcicos.

La reactividad del material, se examina de manera física siguiendo las instrucciones dictadas en la norma INEN NTE 496, “Índice de actividad puzolánica, método del cemento”.

3.3. Análisis de actividad puzolánica de la cerámica cocida.

En la norma INEN NTE 496 se define como Índice de Actividad Puzolánica a “el valor que expresa la capacidad de la puzolana para reaccionar con el hidróxido de calcio, formando compuestos cementicios”.

El ensayo consiste en reemplazar una parte del cemento por puzolana y comparar la resistencia obtenida de este mortero con un patrón.

El mortero patrón se realiza con 500 g de cemento, 1500 g de arena, y 250 cm³ de agua, mientras que el ensayo está compuesto por 325 g de cemento y la puzolana se fija por la relación de 175 veces la densidad de la puzolana dividido para la densidad del patrón, se utiliza la misma cantidad de arena y agua.

Con este procedimiento se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 3.6: Índice de Actividad Puzolánica

Fecha	Descripción	f'c (1 día)	% IAP	f'c (3 días)	% IAP	f'c (7 días)	% IAP	f'c (28 días)	% IAP
02- Feb	Ensayo IAPc	1.28	62.7	4.15	58.2	5.635	60.4	14.26	118.3
02- Feb	Patrón	2.04		7.125		9.33		12.05	

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Antes de realizar el ensayo para determinar su actividad puzolánica, se obtuvo la finura promedio de la muestra, los datos se muestran a continuación:

Grafico 3.7: Resultados de Granulometría de Cerámica Cocida.

Result: Analysis Table							
ID: chamota descage		Run Nr: 7		Measured: 9/4/2013			
File: BISCO		Rec. No: 122		Analysed: 9/4/2013			
Path: C:\SIZER\MU\DATA\		Source:					
Sampler: Internal				Measured Beam Obscuration: 21.0			
Presentation: 4CHD				Analysis: Polydispers		Residual: 0.241	
Modifications: None							
Conc. = 0.0110 %/dl		Density = 1.550 g/cm ³		S.S.A. = 1.4385			
Distribucion: Volume		D[4, 3] = 15.54 um		D[3, 2] = 2.69			
D(v, 0.1) = 0.84 um		D(v, 0.5) = 8.78 um		D(v, 0.9) = 39.95			
Span = 4.454E+00		Uniformity = 1.413E+00					
Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%
0.31	0.00	1.95	21.12	12.21	57.95	76.32	98.60
0.36	0.50	2.28	23.47	14.22	61.99	88.91	99.40
0.42	1.60	2.65	26.04	16.57	66.24	103.58	99.80
0.49	3.10	3.09	28.80	19.31	70.62	120.67	100.00
0.58	4.90	3.60	31.69	22.48	75.05	140.58	100.00
0.67	6.90	4.19	34.67	26.20	79.40	163.77	100.00
0.78	9.00	4.88	37.70	30.53	83.55	190.80	100.00
0.91	11.16	5.69	40.78	35.58	87.38	222.20	100.00
1.06	13.16	6.63	43.92	41.43	90.76	258.90	100.00
1.24	15.08	7.72	47.15	48.27	93.59	301.68	100.00
1.44	16.99	9.00	50.54	56.23	95.84		
1.68	18.97	10.48	54.13	65.51	97.52		

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

3.4. Diseño experimental y pruebas piloto

Se utiliza la herramienta estadística del diseño de experimentos para estudiar como modificar las condiciones normales de realización de un proceso empírico y aumentar así la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta. Se genera así un mejor conocimiento sobre el proceso en estudio.

A continuación se desarrolla la herramienta:

La hipótesis de este experimento es: Un Eco cemento con mayor resistencia a la compresión se obtiene con 20% de adición de cerámica.

La variable independiente será el porcentaje de adición.

Los tratamientos serán los diferentes porcentajes de adición entre 0 a 50%.

Se repetirá tres veces el experimento y serán sujetos de medida: cubos de mortero de 50 mm de arista, que se elaborarán con la siguiente dosificación: 500g de cemento, 1375g de arena (sin normalizar, sólo tamizada por la malla 20), y 335 cm³ de agua. La resistencia a la compresión será la variable dependiente.

Para este experimento no se realizará ningún ensayo aleatorio, y las variables ruidos serán: la finura, y tiempo de fraguado.

Como datos complementarios se obtendrá la expansión en autoclave y en barra de mortero.

Los resultados de los dieciocho experimentos (observaciones) son:

Tabla 3.8: Diseño Experimento: Eco cemento

Eco cementos	R1 (f'c28 días)	R 2 (f'c28 días)	R 3 (f'c28 días)	Σ Y	(Σ Y)²	Σ (Y²)
M0(patrón)	18.16	18.16	18.16	54.5	2966.4	988.8
M1	25.07	19.26	22.03	66.4	4403.0	1484.5
M2	25.70	17.68	20.69	64.1	4103.7	1400.6
M3	21.74	17.42	19.65	58.8	3458.6	1162.2
M4	16.64	14.34	16.3	47.3	2235.4	748.2
M5	11.68	12.45	12.35	36.5	1330.8	443.9
				327.5		6228.3

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con los datos obtenidos se calculan los demás parámetros:

En donde A=6166

Es B =5956.9

SCi (suma de cuadrados relativa al efecto de tratamientos)=209.1

SCt (suma de los cuadrados total)=271.5

SCe(suma de los cuadrados relativa al efecto de los errores)=62.4

MCi (es la media cuadrática de las diferencias entre las observaciones debidas a los tratamientos)=41.8

MCE (es la media cuadrática de las diferencias entre las observaciones debidas a los errores)=5.2

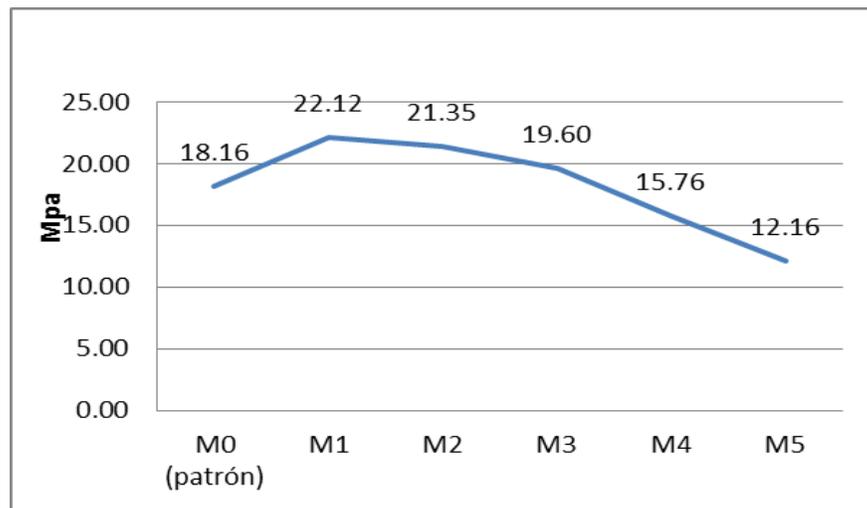
Fc=8.0

Se calcula (t-1) y (N-t), en donde t son los tratamientos y N las observaciones (experimentos) realizados, y luego leer en la tabla de valores F para un nivel de seguridad el correspondiente de F.

Siendo el valor de (t-1) igual a 5 y (N-1) igual a 17, y con ello el valor F es de 2.81.

Con estos datos podemos promediar el valor a 28 días de resistencia a la compresión en donde con el 30% de adición se obtiene un valor de 19.60 MPa mayor al patrón, en consecuencia el eco cemento buscado es la muestra M3. Los datos se muestran en el siguiente gráfico:

Gráfico 3.9: Resistencia del Eco cemento (MPa).



Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón

3.5. Breve estudio de riesgos e impactos

La información de la empresa en la que están instalados los equipos para el tratamiento de la cerámica es la siguiente:

Tabla 3.10: Ubicación instalación piloto

Nombre:	Sin dato
Ubicación	Panamericana Norte Km 4 ½
Tamaño	7 empleados/ área 100 m ² / activos fijos: USD 24000
Fecha de inicio de labores	Diciembre de 2012
Sector Empresarial	Manufactura
Actividad principal	Producción de productos químicos

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

El proceso productivo inicia con la recepción de materias primas, siendo estas: Clinker, Yeso y Adición mineral (cerámica). La dosificación de las materias primas se realiza mediante un proceso semiautomático de pesaje. Las materias primas dosificadas son depositadas al interior de un molino de bolas con capacidad de 2 toneladas la hora, con una eficiencia del 80%. El material fino se despacha como Eco cemento.

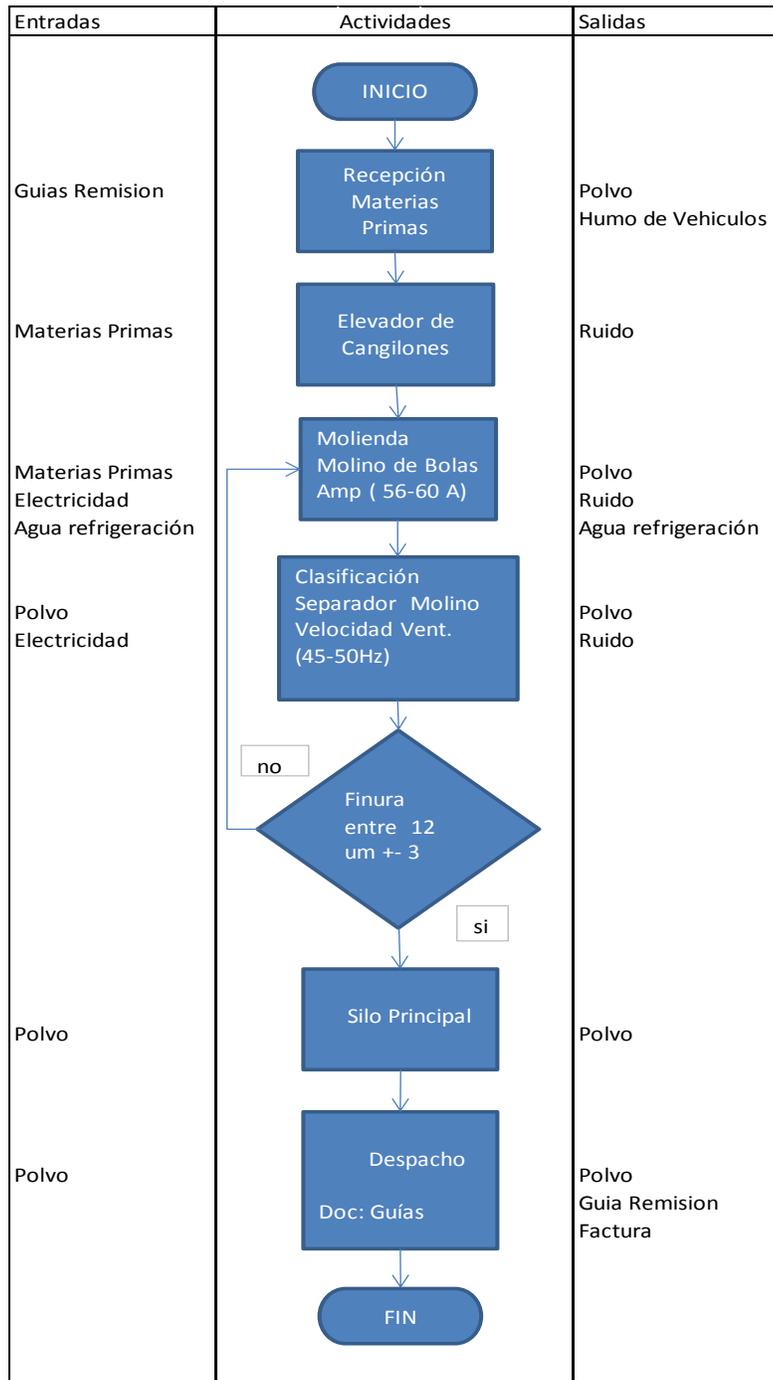
Grafico 3.11: Materiales Utilizados

Material	Unidad	Cantidad/tiempo (ton/mes)	% en el producto
Clinker	Ton	624	65
Yeso	Ton	48	5
Cerámica	Ton	288	30
		960	

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón

La principal área de interés que se ha identificado es la molienda del producto, y se analizan los flujos de materiales, agua y energía en la molienda del producto.

Gráfico 3.12: Diagrama de Flujo del proceso.



Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Se analiza a continuación la cadena de valor desde el punto de vista ambiental.

Tabla 3.13: Gestión Logística

¿Qué se hace?	¿Qué no se hace?
<p>Las compras se realizan según el requerimiento de producción</p> <p>Se dispone de una base de datos de proveedores a los cuales se solicita el material.</p> <p>Las facturas se ingresan en el Sistema JDE Edwards, sistema Planeación de recursos de la empresa.</p>	<p>Actualmente no se corrige la cantidad recibida descontando la humedad del material.</p> <p>Tampoco se cuenta con un control de stocks mínimos para la producción</p> <p>Falta de políticas para el transporte de materiales.</p>

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Tabla 3.14: Gestión de las Actividades de Producción y Servicios.

¿Qué se hace?	¿Que no se hace?
<p>Actualmente se planifica la producción de acuerdo a las necesidades internas.</p> <p>La dosificación de materias primas se realiza con orden de carga.</p> <p>Se toma el tiempo de molienda y se descarga.</p>	<p>Actualmente no hay control de inventarios y tampoco existe gestión del stock mínimo de Materias Primas.</p> <p>Falta mayor coordinación para programar los turnos de producción</p> <p>Falta coordinar el abastecimiento de materias primas</p>

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Tabla 3.15: Gestión de Calidad

¿Qué se hace?	¿Que no se hace?
<p>Se realiza un seguimiento horario de la cantidad de SO₃ para medir la cantidad de yeso presente en el producto final.</p> <p>Se realiza un seguimiento horario de la riqueza de C₃S (silicato tricálcico) en el clinker utilizado.</p> <p>Se realiza un seguimiento diario del fraguado, y resistencia del producto final.</p>	<p>Falta la implementación de un sistema de gestión.</p> <p>Adquirir nuevos equipos para aumentar los ensayos a realizarse.</p>

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Tabla 3.16: Gestión de la Ingeniería y mantenimiento.

¿Qué se hace?	¿Qué no se hace?
<p>Se realizan inspecciones diarias en los principales equipos del proceso:</p> <p>Molino de bolas: Bombas de lubricación, consumo energía del motor.</p> <p>Elevadores de Cangilones: consumo de energía del motor, vibraciones.</p> <p>Semanalmente se revisa con mantenimiento preventivo los equipos mencionados.</p>	<p>Deficiencia en la ejecución del mantenimiento preventivo.</p> <p>Deficiencia en coordinar los mantenimientos correctivos.</p>

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Tabla 3.17: Gestión de los Residuos.

¿Qué se hace?	¿Qué no se hace?
<p>La planta cuenta con un filtro de mangas que recolectan partículas de 0.5 micras.</p> <p>El residuo de la molienda se reprocessa.</p> <p>Los residuos de la grasa y otros lubricantes se envían al horno de Clinker.</p>	<p>Falta una adecuada clasificación de desechos: residuos de grasa, wipe, cartones.</p> <p>La planta no dispone de sistema de atenuación del ruido</p> <p>Ausencia de conexiones necesarias para recolectar el polvo producido en la descarga de materiales.</p>

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Tabla 3.18: Control de Costos y de la Productividad.

¿Qué se hace?	¿Qué no se hace?
<p>El control de costos y productividad está gestionado por el software Shine y JDE.</p>	<p>Sin datos</p>

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Tabla 3.19: Condiciones de Seguridad e Higiene Laboral.

¿Qué se hace?	¿Qué no se hace?
<p>El departamento de seguridad industrial realiza las siguientes actividades.</p> <p>Control médico periódico.</p> <p>Dotación de implementos de seguridad.</p> <p>Capacitación al personal en temas de seguridad industrial</p>	<p>Capacitación al personal en temas de seguridad industrial.</p> <p>Falta el seguimiento para la implementación de buenas prácticas de salud ocupacional.</p>

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Existen dos tipos de marcos legales, el primero es de carácter nacional y el otro de carácter regional o zonal. Los mismos que dictan las normas sobre estudios de impactos ambientales.

El cuerpo legal más importante a nivel nacional es la Constitución de la República, que fue oficializada el 20 de Octubre de 2008, según Registro Oficial 449. En el Capítulo de los Derechos del Buen Vivir, en su Art 14 dice: “se reconoce el derecho a la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”.

También se declara que es de interés público la preservación del ambiente, de los ecosistemas, entre otras cosas, la prevención del daño ambiental y su recuperación.

En el Capítulo de los Derechos de la Naturaleza, en su Art 71, señala que toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza.

Así mismo el Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Mientras que el Art 72, indica que la naturaleza tiene derecho a su restauración, y es independiente de las indemnizaciones a individuos o colectivos afectados. El estado dictará los mecanismos para que se lleve a cabo esta restauración en caso de impacto ambiental grave o permanente.

En el Art 74. Dice “las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permita el buen vivir”.

Dentro del ámbito nacional existe la Ley de Gestión Ambiental, Registro Oficial 245, 30 de julio de 1999), en su Art 19.- “Las obras públicas, privadas o mixtas y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, los mismos serán calificados previamente a su ejecución, por los organismos

descentralizados de control, conforme el Sistema único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio”.

Art20.- Para el inicio de toda actividad que suponga riesgo ambiental se deberá contar con la licencia respectiva, otorgada por el Ministerio del ramo.

El Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA), tiene por principios el mejoramiento, la transparencia, la agilidad, la eficacia y la coordinación interinstitucional de las decisiones relativas a proyectos con potencial impacto o riesgo ambiental, para impulsar el desarrollo sustentable del país mediante la inclusión explícita de consideraciones ambientales y de la participación ciudadana.

Texto Unificado de Legislación Secundaria del ministerio del ambiente (edición especial No 2 del Registro Oficial de 31 de marzo de 2003)

Este libro, luego de haber sido ratificado mediante Decreto Ejecutivo No 316 publicado en el Registro Oficial No 2 del 31 de marzo de 2003, contiene varios libros que legislan sobre varios ámbitos relacionados con el medio ambiente, el libro que tiene un interés particular es el Libro VI.

Libro VI: De la Calidad Ambiental.

Título IV, Reglamento A la ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

Ley de prevención y control de Contaminación Ambiental, Registro oficial 97, 31 de mayo de 1976

En el Artículo 43 del libro VI, dice que son considerados regulados ambientales aquellas personas naturales o jurídicas, de derecho público o privado, nacionales o extranjeras, u organizaciones que a cuenta propia o a través de terceros, realizan en el territorio nacional y de forma regular o accidental, cualquier actividad que tenga el

potencial de afectar la calidad de los recursos agua, aire o suelo como resultado de sus acciones u omisiones.

En el artículo 45, se establece que toda acción relacionada a la gestión ambiental deberá planificarse y ejecutarse sobre la base de los principios de: sustentabilidad, equidad, consentimiento informado previo, representatividad validada, coordinación, precaución, mitigación y remediación de impactos negativos, solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, reciclaje y reutilización de desechos, conservación de recursos en general, minimización de desechos, uso de tecnología más limpia, tecnologías alternativas ambientalmente más responsable y respecto a las culturas y prácticas tradicionales y posesiones ancestrales.

Igualmente, el citado reglamento establece que deberán considerarse los impactos ambientales de cualquier producto, industrializado o no, durante su ciclo de vida

Con este marco legal y según sus directrices se han identificado al interior del proceso productivo las siguientes oportunidades de Producción más limpia en la molienda del Eco cemento, estas oportunidades son: ruido, y generación de polvo.

El ruido es un contaminante atmosférico muy agresivo, además del deterioro del medio ambiente, es causa de trastornos físicos y desequilibrios psicológicos.

En el libro VI, del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, en el Anexo 5, se presentan los niveles permisibles de ruido en el ambiente, provenientes de fuentes fijas.

Esta norma tiene como objetivo el preservar la salud y bienestar de las personas, y del ambiente en general, mediante el establecimiento de niveles de ruido en el ambiente, así como disposiciones generales en lo referente a la prevención y control de ruidos.

Se define como fuente fija a un elemento o un conjunto de ellos capaces de producir emisiones de ruido desde un inmueble, ruido que es emitido hacia el exterior, por el aire o por el suelo.

La unidad de medida del ruido es el decibel, y es la unidad utilizada para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora.

El nivel de presión sonora continua equivalente (NPSeq) es el nivel de presión sonora constante, expresado en decibeles A [dB(A)], los niveles máximos permitidos se muestran a continuación:

Tabla 3.20: Niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo

Tipo de zona según su uso de suelo	Niveles de presión sonora equivalente NP Seq dB (A)	
	De 06H00 a 20H00	De 20H00 a 06H00
	zona hospitalaria y educacional	45
zona residencial	50	40
zona residencial mixta	55	45
zona comercial	60	50
zona comercial mixta	65	55
zona industrial	70	65

Fuente: Libro VI, Anexo 5, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

En el mismo documento se pide que los procesos industriales y máquinas, que produzcan niveles de ruido de 85dB A o mayores deban ser aislados, para disminuir el ruido en el exterior.

Se recomienda que el instrumento de medida debe estar entre 1 y 1.5 m de altura, fijo y libre de vibraciones.

El proceso de producción del Eco cemento será el de molienda de materiales y esta operación genera polvo.

El polvo es un conjunto de sistemas de partículas sólidas esparcidas en un medio gaseoso.

En el libro VI, del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, en el Anexo 3, se define como Emisión a la descarga de sustancias en la atmosfera, para propósitos de esta norma la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.

En este mismo libro, se define como Contaminación del aire a la presencia de sustancias en la atmosfera, que resultan de las actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

La ley dicta los límites de partículas suspendidas de por lo menos dos orígenes, la primera es de fuentes fijas (motores de combustión), y la segunda de procesos en general, al interior de esta se incluye el proceso de elaboración de cemento, sin embargo solo se toma en cuenta el horno de clinker, siendo su valor máximo de 150 mg/Nm³.

Se han elegido las siguientes alternativas de Producción más Limpia y se enumeran a continuación:

Construcción de ductos para mitigar la generación de polvo en el área de recepción de materias primas

Mejorar la capacitación sobre el uso de implementos de seguridad

Construir un atenuador de ruido cerca al molino de bolas.

Mejorar las características de los implementos entregados

Mientras que se plantean como objetivos para las alternativas de Producción más Limpia a los siguientes:

Reducir el ruido con atenuadores de sonido colocados alrededor del molino de bolas (ruido superior a 90 dB(A))

Colocar señalización más visible para aumentar el uso de implementos de seguridad industrial

Realizar capacitaciones en forma frecuente para concienciar al personal sobre los efectos del ruido y como mitigarlo.

Y por último se plantea un cronograma para la ejecución de estas acciones:

Tabla 3.21: Cronograma Implementación Acciones PML

Alternativa	Cronograma		Recursos Necesarios	Responsables	Medio de Verificación
	Inicio	Final			
Construcción de ductos para mitigar la generación de polvo en el área de recepción de materias primas	15/07/2013	30/08/2013	Tubos, soldadora, mecánicos, grúas	Jefe de mantenimiento	Cantidad de polvo presente en el ambiente
Mejorar la capacitación sobre el uso de implementos de seguridad	01/07/2013	05/07/2013	Local de capacitación, instructor	Dpto. Seguridad Industrial	Exámenes de aprobación
Construir un atenuador de ruido cerca al molino de bolas	02/09/2013	26/09/2013	Ladrillos, albañil	Jefe de mantenimiento	Decibeles percibidos por sonómetro
Mejorar las características de los implementos de seguridad utilizados.	22/07/2013	29/07/2013	Implementos de seguridad	Dpto. Seguridad Industrial	Seguimiento del uso de nuevos implementos

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

CAPITULO IV

4. Fórmulas básicas para los productos: Hormigón, Bloques y Enlucidos, con el eco cemento elaborado.

4.1. Desarrollo de la formula básica para Hormigón: 210

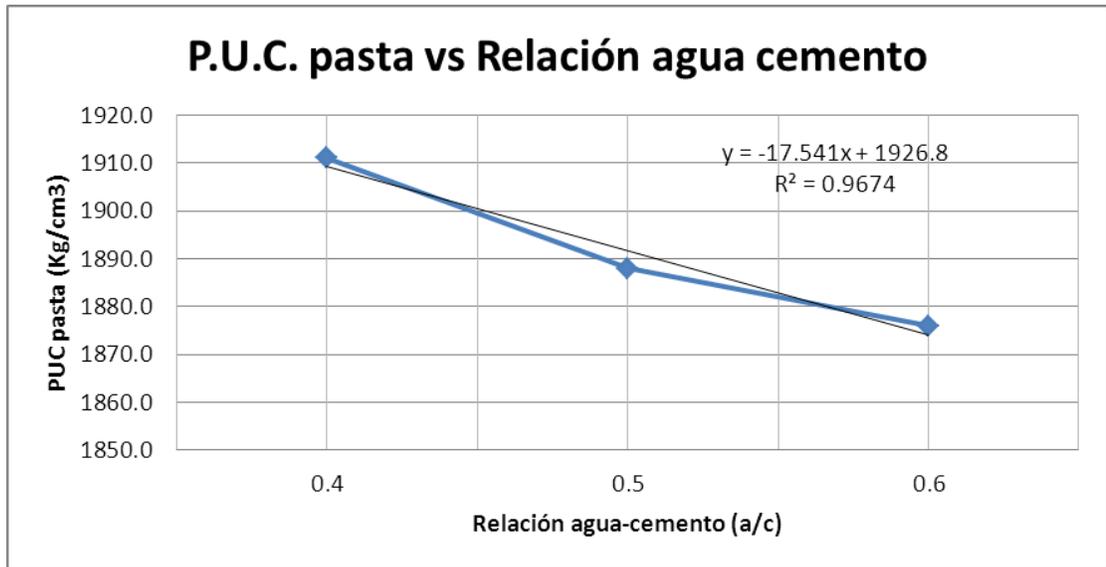
El hormigón es un material compuesto que consta de un medio aglomerante en donde están embebidos agregados, se elaboran a partir de la mezcla de cemento hidráulico, agregados (finos y gruesos), agua y aditivos.

En la norma ASTM-C125, el cemento hidráulico es un material que fragua y endurece por interacción química con el agua y es capaz de hacerlo bajo el mismo. Mientras que los agregados son: materiales granulados, tales como arenas, residuos inorgánicos, escoria de altos hornos, etc., usados para formar concretos o morteros.

Para diseñar el hormigón de 210 Kg/cm^2 se aplicará el método creado por el Dr. Salazar (2001), este método determina los espacios vacíos que dejan la mezcla de áridos gruesos y finos, para que sean llenados por la pasta de cemento, generando así un material compacto y por tanto resistente.

Primero se debe determinar el peso unitario compactado (P.U.C.) de la pasta de cemento con diferentes relaciones agua/cemento (a/c).

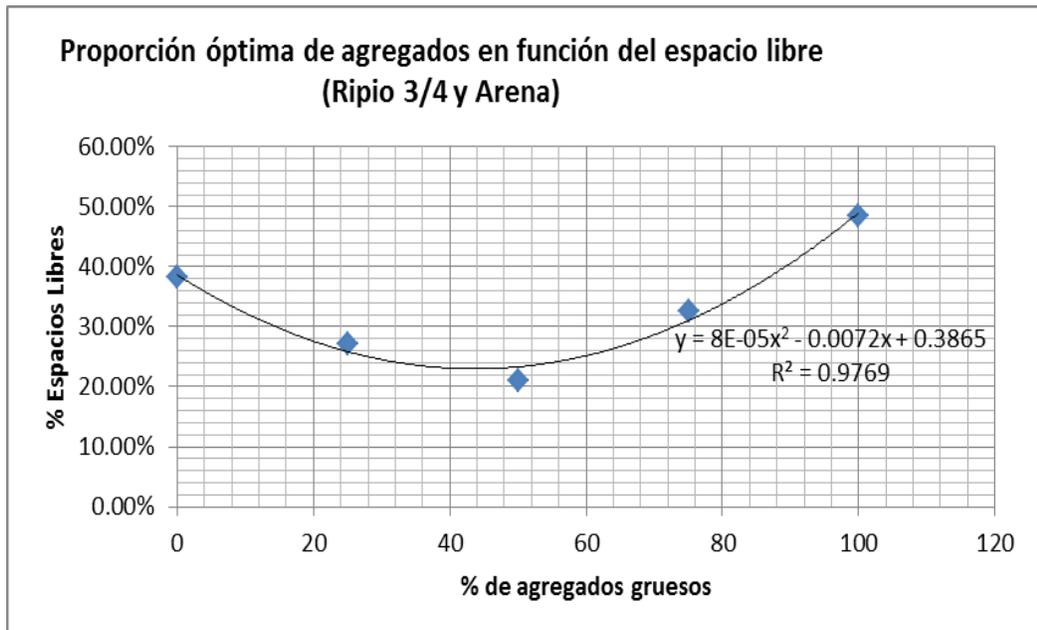
Grafico 4.1:P.U.C. Pasta de cemento.



Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Luego se obtiene el P. U. C. de la mezcla de agregados, pero antes se comprueba la velocidad inicial de absorción, siendo para la arena de 0.15% y en el ripio de 0.02%; el gráfico del peso unitario compactado de los agregados es:

Gráfico 4.2: P.U.C. de los agregados



Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con los dos gráficos es posible determinar la cantidad de pasta y de agregados necesarios para el diseño del hormigón. Sin embargo se debe realizar una corrección a la dosificación original, el incremento del volumen de la pasta debe ser restado del volumen de los agregados, esta reducción se estima en 10%.

El diseño del hormigón se muestra en el siguiente gráfico.

Tabla 4.3: Diseño de hormigón.

Diseño de Concreto	Dosificación teórica	Dosificación Real
Cemento (g)	259	408.3
Ripio (g)	989.1	870
Arena (g)	989.1	870
Relación agua-cemento	0.55	0.50
Peso Total concreto (g)	2381	2351

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

4.2. Desarrollo de la formula básica para Bloque de hormigón

Los bloques son piezas prefabricadas a base de cemento, agua y áridos, que pueden o no incluir algún aditivo.

La norma INEN NTE 638 define al bloque hueco de hormigón como “Un elemento simple hecho de hormigón; en forma de paralelepípedo, con uno o más huecos transversales en su interior, de modo que el volumen del material sólido sea del 50 al 75% del volumen total del elemento”, y su clasificación es la siguiente:

Tabla 4.4: Tipos de bloques huecos de hormigón y sus usos

Tipos	Usos
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento
	Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento
	Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento
E	Losas alivianadas de Hormigón Armado.

Fuente INEN 638

El tamaño modular del bloque es de 20x20x40cm, aunque existen variaciones en sus medidas, la norma INEN 638 dicta las dimensiones de los bloques:

Tabla 4.5: Dimensiones de los bloques

	Dimensiones Nominales (cm)			Dimensiones Reales (cm)		
	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto
TIPO						
A, B	40	20,15,10	20	39	19,14,09	19
C, D	40	10,15,20	20	39	09,14,19	19
E	40	10,15,20,25	20	39	09,14,19,24	19

Fuente: INEN 638

Los bloques de concreto son fabricados mediante un moldeo que incluye una compactación y vibración.

La compactación se utiliza para confinar el mortero en el molde para garantizar la precisión dimensional y evitar la formación de poros en su estructura; mientras que la

vibración se utiliza para brindar al bloque la resistencia mecánica especificada según su uso final.

El comportamiento del bloque depende de la selección de los agregados, la dosificación de estos, el mezclado, y su moldeo.

La vibración a la que está sometido el bloque consiste en una serie de sacudidas con frecuencias entre los 3000 y 6000 rpm.

El tiempo de vibrado es importante en el moldeo, así como para adquirir la resistencia requerida. Este parámetro debe ser determinado experimentalmente en cada proceso productivo, debido a que cada proceso es diferente.

Este tiempo debe ser determinado para cada método de vibración, (alta o baja), en función de los agregados, la relación agua – cemento (a/c) y cemento usado.

La vibración alta es aquella que tiene 6000 rpm y la baja es de 3000rpm.

La ventaja de la alta vibración es que se consigue una mejor resistencia mecánica en el bloque, mientras que con la baja es necesario cambiar parámetros como la relación agua-cemento (a/c) y aumentar el tiempo de vibración.

Los bloques vibro comprimidos presentan entre otras ventajas la disminución de material para revoque (enlucido), disminución del mortero de junta, reducción número de unidades en el vano a cubrir, la desventaja es que el bloque no debe ser cortado porque las fisuras ocasionadas al hacerlo provocan cuarteamientos posteriores a su utilización.

Los bloques según la norma INEN 638, deben cumplir con ciertos requisitos, de resistencia a la compresión y de absorción de agua, ésta debe ser máxima de 15%; la resistencia se indica en el gráfico 4.3.

Tabla 4.6: Especificaciones de Resistencia en bloques.

TIPO	Resistencia a la compresión (f 'c) a 28 días en Mega pascales (MPa)
A	6
B	4
C	3
D	2.5
E	2

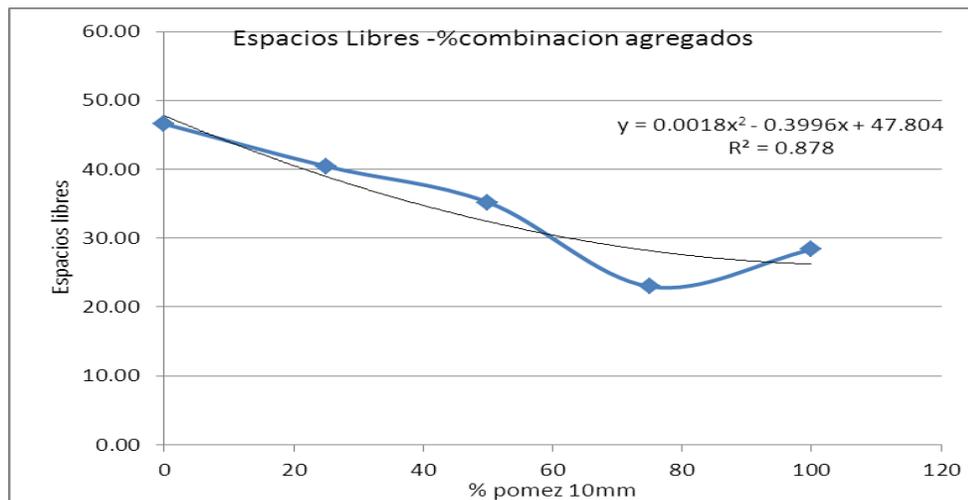
Fuente: INEN 638. Requisitos Bloques de Hormigón.

De otros estudios la absorción en bloques de hormigón se ha determinado que es de aproximadamente 0.15%, y los bloques de pómez (alivianados) su masa de absorción es del 16%.

Para determinar el diseño del bloque alivianado se sigue el método de espacios libres. El peso unitario compactado de la pasta se determinó para desarrollar el hormigón propuesto, y se muestra en el gráfico 4.1: P.U.C. pasta de cemento

El Peso Unitario Compactado de los agregados, en este caso piedra pómez es:

Gráfico 4.7: P.U.C. Agregados (Pómez Chispa)



Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con los datos obtenidos se ensaya la siguiente dosificación:

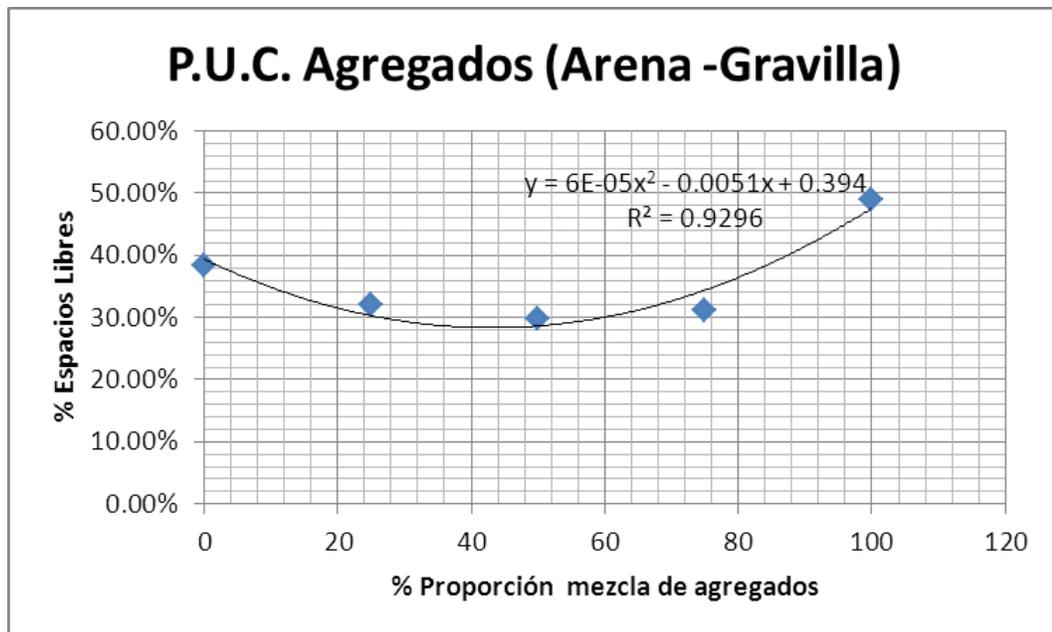
Tabla 4.8: Dosificación bloque alivianado

Materiales	%
Eco Cemento	25
Agua	13
Chasqui	47
Puzolana	16

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con el mismo método se diseña una nueva dosificación pero esta vez con gravilla arena, los datos del diseño se muestra a continuación.

Gráfico 4.9: P.U.C. Agregados (Gravilla-Arena)



Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Y como resultado tenemos:

Tabla 4.10: Dosificación bloque tipo A

Materiales	%
Eco Cemento	17
Agua	8
Gravilla	37
Arena	37

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

4.3. Desarrollo de la formula básica para Enlucido.

El enlucido es un producto que sirve para revestir una pared de mampostería, se caracteriza por su finura, la misma que busca cubrir las imperfecciones creadas al momento de unir los ladrillos o bloques.

El enlucido, al igual que el hormigón y bloque es un material compuesto, elaborado con pasta de cemento más arena (árido fino), llamándose a esta mezcla como “mortero”.

La norma NTE INEN 1806 “Cemento para Mampostería; Requisitos”, dice que el cemento para este tipo de productos se clasifica en Tipo N, S y M.

El Tipo M, es un cemento que se define como: “Para uso en la preparación del mortero tipo M de la NTE INEN 2518, sin mayor adición de cemento o cal hidratada”. En tal virtud el eco cemento es un cemento de mampostería Tipo M.

En la norma NTE INEN 2518 “Morteros para unidades de mampostería, Requisitos”, se dicta los requisitos para especificaciones por dosificaciones y por propiedades. La dosificación para los morteros tipo M según la norma es de 43% de cemento y 57% de arena.

La fórmula para el mortero en estudio se ha modificado intencionalmente, y considerando los datos de ensayos obtenidos en el capítulo II es posible plantear la siguiente dosificación:

Tabla 4.11: Dosificación mortero con Eco cemento

Materiales	Porcentajes
Eco cemento	26%
Arena	74%

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

El mortero que se va a dosificar debe cumplir con las especificaciones mencionadas en la norma de referencia que es la INEN NTE 2518, los parámetros se muestran en el siguiente grafico 4.12:

Tabla 4.12: Especificaciones por dosificación, según INEN 2518

Mortero	Tipo	Dosificaciones por Volumen (materiales cementantes)		Relación áridos (medidos en condición húmeda suelta)
		Cemento Portland	Cemento para mortero	
Cemento para Mortero	M	1	.-.	No menos de 2 1/4 y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes

Fuente: NTE INEN 2518: Morteros para unidades de mampostería, requisitos.

La arena escogida tiene la siguiente granulometría, la cual se muestra en el siguiente gráfico 4.13

Tabla 4.13: Granulometría de la Arena

Apertura del tamiz	Arena (%)
>0.8mm	38.4
0.8mm - 850 μ m	7.2
850 μ m - 300 μ m	19
300 μ m - 150 μ m	11.6
150 μ m - 75 μ m	6.9
<75 μ m	18.6

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Antes de determinar si realmente la dosificación escogida se ajusta a los parámetros establecidos en la norma mencionada, por recomendación se debe encontrar el porcentaje de espacios libres en la arena, el valor ideal debe ser menor a 25%, normalmente el promedio fluctúa entre 25% a 33%, pero si el porcentaje de espacios libres es mayor a 33%, se debe utilizar una mezcla de arena gruesa y fina.

Para determinar el Porcentaje de espacio libre se siguió el siguiente procedimiento: Llenar un recipiente con arena y enrasarlo, luego verter agua hasta colmar el recipiente y medir el agua adicionada determinando así el volumen de espacios libres en la arena.

También se debe determinar el hinchamiento que tiene la arena, antes de su uso, este análisis está a continuación.

Tabla 4.14: Hinchamiento de arena

Material	Altura libre del recipiente			
	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Promedio (mm)
Solo Arena	9	7.5	7	7.83
Arena + agua	7.5	7.2	7.5	7.4

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Tabla 4.15: Determinación de espacios libres de arena

Descripción	Valores
Peso recipiente	647 g
Volumen del recipiente	952.2 cm ³
Peso de arena	1570.6 g
Volumen de agua	180.6 cm ³

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con estos datos se obtiene un porcentaje de espacios libres de 19%. Podemos entonces, concluir que la arena escogida es la adecuada para nuestro propósito.

Una vez analizada la arena, es posible proponer la siguiente dosificación de mortero:

Tabla 4.16: Dosificación del mortero

Material	%
Eco Cemento	26
Arena	74
Relación agua cemento	0.67

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con esta dosificación se establece la fluidez del mortero, primero se amasa la mezcla, luego se somete al ensayo y debe este brindar un valor de 110%, determinado en la mesa de flujo a 25 caídas en 15 segundos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diam final} - \text{Diam inicial}}{\text{Diam. inicial}} * 100$$

Los diámetros del mortero son:

Tabla 4.17: Determinación de la Fluidez del mortero

Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Medida 4 (cm)	Promedio (cm)	% Fluidez
21.3	21.7	20.8	20.1	20.98	1.10

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

En siguiente ensayo a realizar es la retención de agua: Según recomendación del Dr. Salazar (2001), la retención del agua debe ser de 75% min.

El procedimiento a seguir es el siguiente: Amasar el mortero con una fluidez de 110%, se extrae el mortero de la mesa de flujo y se mezcla por 15 segundos a velocidad lenta. Se coloca el mortero en un embudo de succión, y se genera una depresión de -51mm Hg, por un minuto. Luego se extrae el mortero del plato de succión, y se mezcla manualmente por 15 segundos. Se determina la fluidez. La operación no debe ser interrumpida y debe durar desde el contacto del agua con el cemento no más allá de 11 minutos. El resultado fue de 76%

El siguiente ensayo a realizar es determinar el Contenido de Aire: para este análisis se debe dosificar 350g de cemento por cada 1400g de arena con agua suficiente para producir un flujo de 87% +- 7%. Con el mortero de 87% de flujo, se lo debe colocar al interior del recipiente de 400 cm³, compactarlo con 20 golpes del apisonador, dispuesto de manera vertical y dando un vuelta. Se tiene que eliminar el aire contenido en la mezcla, con ligeros golpes alrededor del recipiente, se enrasa el mortero, y se pesa. Los datos obtenidos son: 19cm, 18.4cm, 18.7 cm, 18,7 cm.

Tabla 4.18: Fluidez del Mortero.

Descripción	Valor	Unidades
Cemento	351	g
Arena	1402	g
Relación agua-cemento	0.67	
Fluidez	87.5	%

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Para determinar el contenido de aire en el mortero se utiliza la siguiente formula.

$$\% \text{ Contenido de Aire} = 100 - W \frac{(182.7 + P)}{(2000 + 4P)}$$

Los resultados son:

Tabla 4.19: Contenido de Aire.

Descripción	Valor	Unidad
Masa mortero (W)	964.6	g
P = (relación agua/cemento)	0.56	
Contenido aire	11.71	%

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

4.4. Aplicación de las formulas obtenidas en los productos propuestos.

Para el hormigón se propuso según el diseño la siguiente dosificación:

Tabla 4.20: Dosificación del Hormigón.

Diseño de Concreto	Cantidades (kg)
Cemento	20.36
Agua	10.08
Ripio	43.40
Arena	43.40

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con esta dosificación se elaboró un lote de concreto con el siguiente proceso de fabricación. Se coloca en la mezcladora un tercio del agua requerida, se mezcla por 30 segundos, se coloca todo el ripio y se mezcla por 30 segundos, se incorpora a la mezcla arena con el segundo tercio del agua y por un lapso de 1 minuto, se coloca ahora el eco-cemento y se mezcla por un minuto, se espera un minuto, se mezcla nuevamente por un minuto. El material se vierte en una carretilla u otro recipiente, se determina el asentamiento y se elaboran los cilindros.

Luego se ensayan los cilindros a diferentes edades y los resultados obtenidos son:

Tabla 4.21: Resultados Hormigón

Edad	Altura	Diámetro	Peso	Volumen	Rotura	Área	Rotura Compresión	
días	cm	Cm	g	cm ³	Kg	cm ²	Kg/cm ²	%
3	102.6	200.1	3970.9	1654.5	8400	82.7	101.6	99.2
3	101.98	200.2	3927.7	1635.3	7900	81.7	96.7	
7	102.36	200.0	3911.4	1646.0	8300	82.3	100.9	105.6
7	102.52	200.0	3964.9	1651.0	9100	82.5	110.2	
28	103.8	200.1	4064.0	1693.8	18100	84.6	213.9	212.9
28	102.56	200.0	3965.9	1652.9	17500	82.6	211.8	

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

El siguiente producto a ensayarse fue el bloque de hormigón, las dosificaciones para ambos están en los gráficos 4.8 y 4.10, sin embargo las relaciones agua / cemento no se pudieron utilizar, estas matrices se ensayaron en cubos de 50 mm de arista, los resultados son:

Tabla 4.22: Resultados Fórmula Bloque liviano

Relación agua cemento	Lado A	Lado B	Lado C	Peso	Peso específico	Rotura Compresión 1 día	Rotura Compresión 3 días
	cm	cm	cm	g	g/cm ³	MPa	MPa
1.01	5.07	5.05	5.07	107	0.82	1.01	1.89
1.01	4.98	5	5.01	103.5	0.83	1.04	3.22
1.01	5.06	5.08	5.07	107.6	0.83	1.01	2.29
1.01	5.02	5.03	5.01	102.5	0.81	1.00	2.40
Promedio						1.02	2.45

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con la otra matriz los datos obtenidos son:

Tabla 4.23: Resultados Fórmula Bloque Hormigón

Relación agua- cemento	Lado A	Lado B	Lado C	Peso	Peso específico	Rotura Compresión 1 día	Rotura Compresión 3 días	Rotura Compresión 7 días
	cm	cm	cm	g	g/cm ³	MPa	MPa	MPa
0.79	5.07	5.1	5.03	135.8	1.04	0.64	2.96	8.11
0.79	5.02	5.07	4.99	136	1.07	1.63	2.14	7.81
0.79	5.1	4.97	5.03	134.5	1.05	1.70	2.38	8.60
0.79	5.06	5.1	4.99	136.2	1.06	1.92	2.42	8.35
Promedio						1.47	2.48	8.22

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

Con el enlucido, los resultados son los siguientes:

Tabla 4.24 Resultados Enlucido

Edad	Lado A	Lado B	Lado C	Peso	Peso específico	Rotura Compresión
Días	cm	cm	cm	g	g/cm ³	MPa
1	5.02	4.97	5.05	266.3	2.12	6.53
3	5.03	5.00	5.06	274.1	2.16	11.91
7	5.01	4.99	5.03	274.7	2.19	14.12
28	5.00	5.03	5.03	281.1	2.22	19.50

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

La formulación propuesta de enlucido comparada con la norma INEN NTE 2518 es la siguiente:

Tabla 4.25: Comparación con la norma

Mortero	Tipo	Rotura Compresión 28 días (MPa)	% Contenido Aire (máx.)	% Absorción de agua (mín.)
INEN 2518	M	17.2	12	75%
Eco cemento	M	19.50	11.71	76%

Fuente: Ing. Ivor Inga Chacón.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los materiales que se deseen utilizar como adiciones minerales en un cemento hidráulico, sin importar su naturaleza, deben ser estudiados desde su química, mineralogía, y origen, para con esta información generalizar su aptitud como material puzolánico en los cementos hidráulicos.

El material estudiado posee todas las características especificadas en normas para su utilización como material adicional en un cemento hidráulico, dadas sus propiedades este material genera nueva Portlandita en el gel de cemento, que se traduce en el incremento de resistencias a la compresión, disminución del tiempo de fraguado, y cumple con los parámetros establecidos para predecir su durabilidad.

Los materiales de construcción alternativos, son subproductos de otras tecnologías y deben ser activados mediante procesos, químicos, térmicos y mecánicos, en este caso el material en estudio se destinó como adición mineral, y debió sufrir dos activaciones la primera fue una activación térmica, porque en su proceso original es sometido a una temperatura superior a 800°C y luego se lo ha molido hasta una finura inferior a 15 micras. Estas activaciones logran transformar al material, mineralógicamente y granulométricamente, alcanzando finalmente una alta reactividad en presencia de cristales con comportamiento hidráulico.

La cerámica es una puzolana artificial, porque tiene en su composición mineralógica silico aluminatos-cálcicos que son cristales muy reactivos con los compuestos hidráulicos del clinker.

El material tratado mecánicamente, adquiere la finura adecuada, que en conjunto con el cemento hidráulico posee un tiempo de fraguado inferior al especificado en la norma, este ocupa solamente 4 horas y media para su endurecimiento. La resistencia a la compresión ensayada a 28 días es de 44.9 MPa y su expansión está en el orden del 0.012%, garantizando estabilidad volumétrica a lo largo del tiempo.

Los productos se dosificaron y aplicaron siguiendo las directrices de investigadores y de las normas vigentes, con estas se han podido obtener resultados alentadores.

Con el hormigón se obtuvo, resistencias superiores al diseño planteado.

Se estudiaron dos matrices para bloques, la primera fue para bloques de hormigón y la segunda para bloques alivianados, los resultados obtenidos superaron los valores requeridos en norma, a los 3 días en el primer caso y a los 7 días en el segundo caso. Si consideramos el comportamiento del mercado de bloques a nivel local, los productos se comercializan a partir de los 4 días después de su elaboración, las formulas obtenidas son adecuadas desde este punto de vista.

La dificultad encontrada en esta formulación fue su trabajabilidad, por su alto contenido de poros, que fueron los responsables del incremento de agua necesario para su mezclado.

Con el enlucido, se puede incrementar la cantidad de adición para mejorar el comportamiento en absorción y disminuir las resistencias, para adecuarlas a los requerimientos de norma NTE 2518.

RECOMENDACIONES

Los materiales utilizados para la elaboración de bloques alivianados, deben ser estudiados más a fondo, debido a la gran cantidad de poros que poseen, restan trabajabilidad a la matriz, y generan demasiados espacios sin cubrir por el material aglomerante, disminuye así la resistencia a la compresión. En este mismo sentido sin un estudio exhaustivo de estos materiales no es posible optimizar el contenido de cemento.

Todas las formulaciones propuestas fueron evaluadas desde el punto de vista técnico, pero su aplicación final estará sometida a una evaluación financiera.

El método de los espacios libres es una técnica de diseño que se basa en ocupar los espacios dejados en la matriz de agregados, sin embargo la cantidad de material

cementante debe ser corregida para mejorar la reología del hormigón, por tanto es necesario realizar estudios de hinchamientos y absorción en los agregados utilizados en la región.

Estudiar más subproductos, para que puedan ser utilizados como eco materiales y brindar así mayores oportunidades para desarrollar viviendas de carácter social.

BIBLIOGRAFÍA

Batalla Soriano, Pau, et al, (sin año de publicación), Cerámica para la arquitectura. Asociación Española de Fabricantes de azulejos y pavimentos cerámicos.

Constitución de la República del Ecuador, 2008, Registro Oficial 449.

Fernández, Sanchez, Rafael. (2005). Innovación en la fabricación y utilización de cementos. Revista de Obras Públicas [versión electrónica]. N 3.457 (81 82).

Ilzarbe, L., Viles, E., Álvarez, M., Tanco, M. (2008). Aplicación del Diseño de Experimentos (DOE) para la mejora de procesos. Memorias, No 6, Universidad de Navarra. Pág. 85.

INEN, (2010). Cemento Hidráulico. Definición de Términos, NTE INEN 151:2010. Primera edición. Tercera revisión, Quito, INEN.

INEN, (2010). Cemento Hidráulico, Requisitos de desempeño para cemento hidráulicos, NTE INEN 2380:2010, primera edición. Primera revisión. Quito, INEN.

INEN, (2010). Morteros para unidades de mampostería. Requisitos. NTE INEN 2518. Primera Edición. Quito. INEN.

INEN, (1993). Bloques Huecos de Hormigón, Definiciones, Clasificación y condiciones generales, NTE INEN 638:93, primera edición. Primera Revisión. Quito. INEN.

INEN, (1980). Puzolanas, Determinación del índice de actividad puzolánica. Método del Cemento, NTE INEN 496, primera edición. Quito, INEN.

Investigación Ekos negocios (2012). ¿Cemento Oligopolio?, Industria próspera pero controversial. Ekos negocios No 305. Pág. (22-33).

Ley de Gestión Ambiental, 1999, Registro Oficial 245.

Libro VI de la calidad Ambiental, Título IV, Reglamento a la Ley de Gestión Ambientas para la prevención y control de la contaminación ambiental, 1976, Registro Oficial 97.

Malhotra V.M., Mehta, Kumar.K. (1996). Pozzolanic and Cementitious Materials, Ontario, Gordon and Breach Science Publishers SA.

Puertas, F, et al., (2006), Residuos cerámicos para su posible uso como materia prima en la fabricación de clinker de cemento portland: Caracterización y Activación Alcalina, Revista Materiales de Construcción, Vol. 56, Pág. 281, 73-74, ISN: 0465-2746.

Salazar, A. (2009). Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos, quinta edición, Cali, Universidad del Valle.

Salazar, A (2000). Guía Práctica. Morteros de pega para muros de mampostería. Primera edición. Cali, Universidad del Valle.

Salgado A.,Jairo, (s a), Alternativas de Producción más limpia en las Pyme del Sector Manufacturero. Guía de Consultores. (s.ed.), BID.

Taylor, H, F W, (1990). Cement Chemistry, (first impression 1964) Academic Press, London, and ISBN: 0-12-683900-x

Texto Unificado de Legislación Secundaria, Ministerio del Ambiente, 2003, Registro Oficial 31 marzo de 2003, Decreto Ejecutivo No 316.

Slag Cement and the Environment, (2009) from <http://www.slagcement.org>.

ANEXOS

ANEXO 1.

Determinación de la granulometría de la cerámica.

Determinación de condiciones del Molino de Bolas, utilizado para pruebas de molienda del material en estudio.

Según los cálculos de diseño y operación de un Molino de bolas, debería ser colocado 26 Kg, la carga de operación fue del 72%.

CARGA DE BOLAS EN EL MOLINO IQA

Peso de Bolas

$GII \cdot PvB \cdot Vm$

Grado de Llenado **30.0 %**

Diametro del Molino **0.74 m**

Longitud del Molino **0.69 m**

Volumen del Molino 0.29676 m³

Peso volumetrico de Bolas

Peso bolas 46.5 Kg

Vol total 20 dm³

Pv Bolas 2.3 Ton/m³

Peso Bolas 200 Kg

Distribución de bolas

tamaño	Porcentaje	Peso
38 mm	7%	14 Kg
30 mm	13%	26 Kg
27 mm	30%	60 Kg
24 mm	50%	100
	100.0%	200

Carga de Material

Peso Volumetrico del material

Peso material 26.08 Kg

Vol total 27 dm³

Pv Material 0.966 Kg/dm³

Espacio Vacio

Volumen total 10.9088 m³

Vol (libre) 3.27263 m³

Espacio Vacio **0.3 m³**

Espacio libre total 0.02671 m³

Carga material **26 Kg**

Determinación del peso de Bolas, diferentes diámetros

	40 mm	50 mm	60 mm	68mm
Kg	46.5	91.8	88.58	87.24
Vol	20	20	20	20
Ton/m ³	2.3	4.6	4.4	4.4
peso bolas	5137	8314	4811	.-.

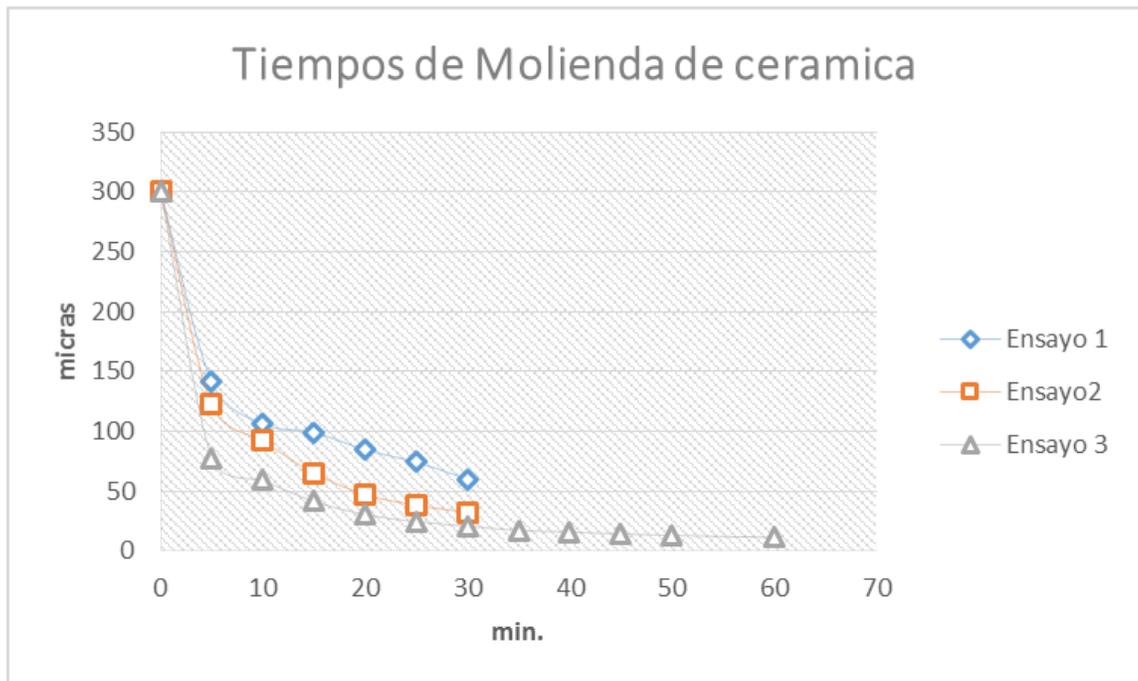
Fotografía A-1. Molino de Pruebas IQA



Autor: Ing. Ivor Inga Chacón

Una vez calculado el grado de llenado se realizaron tres pruebas con 26 Kg, (Ensayo 1), con 22 Kg (Ensayo 2) y con 20 Kg (Ensayo 3), los resultados se muestran a continuación:

Grafico A 1: Tiempos de molienda con diferente carga de material



Autor: Ing. Ivor Inga Chacón.

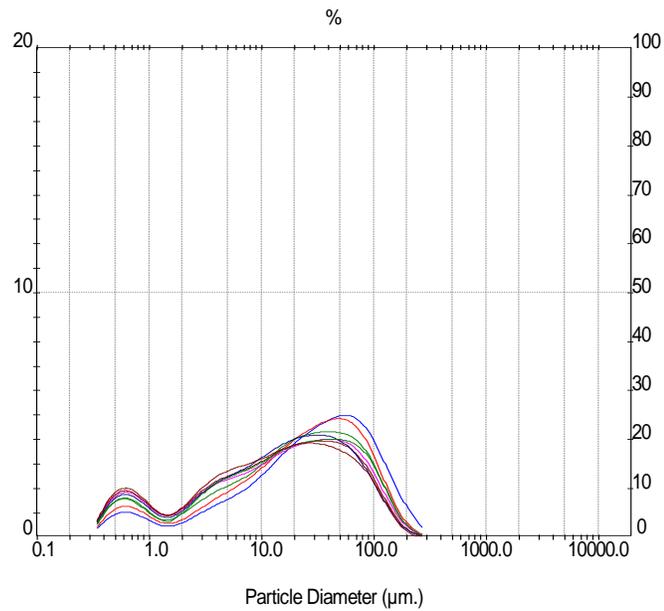
Gráfico A 2. Granulometro Laser



Autor: Ing. Ivor Inga Chacón

Con la carga de 20 Kg, se realizó un estudio granulométrico en un equipo marca Malvern, a diferentes tiempos los datos se muestran en el siguiente gráfico.

Gráfico A3 : Analisis granulométrico de la cerámica, a diferentes tiempos de ensayo



Autor: Ing. Ivor Inga Chacón.

ANEXO 2.

Determinación de la composición química de la Cerámica.

La determinación de la composición química de la cerámica cocida se realizó en un equipo Marca Bruker, en donde se realizaron varias pruebas antes

Tabla A-2: Analisis Químico de cerámica.

ANALISIS QUIMICO DE CERAMICA						
SiO2 (%)	Al2O3 (%)	CaO (%)	Fe2O3 (%)	Na2O (%)	K2O (%)	MgO (%)
56.61	16.31	12.34	6.53	2.28	1.6	1.42
TiO2 (%)	SO3 (%)	P2O5 (%)	ZrO2	BaO (%)	ZnO	Cl (%)
0.6	0.65	0.42	0.003	0.34	0.0042	0.1
MnO (%)	SrO	Sc2O3 (%)	Rb2O	CuO	NiO	
0.11	0.0006	0.02	71 PPM	33 PPM	23 PPM	

SiO2 (%)	Al2O3 (%)	CaO (%)	Fe2O3 (%)	Na2O (%)	K2O (%)	MgO (%)
58.79	16.53	2.94	5.87	2.36	1.96	1.76
TiO2 (%)	SO3 (%)	P2O5 (%)	ZrO2	BaO (%)	ZnO	Cl (%)
0.7	0.39	0.18	0.30%	0.16	0.04%	0.3
MnO (%)	SrO	Sc2O3 (%)	Rb2O	CuO	NiO	
0.11	0.02%	0.02	71 PPM	33 PPM	23 PPM	

SiO2 (%)	Al2O3 (%)	CaO (%)	Fe2O3 (%)	Na2O (%)	K2O (%)	MgO (%)
57.7	16.42	7.64	6.2	2.32	1.78	1.59
TiO2 (%)	SO3 (%)	P2O5 (%)	ZrO2 (%)	BaO (%)	ZnO	Cl
0.65	0.52	0.3	0.30%	0.25	0.23%	0.2
MnO (%)	SrO (%)	Sc2O3 (%)	Rb2O	CuO	NiO	
0.11	0.04%	0.02	71 PPM	33 PPM	23 PPM	

Autor: Ing. Ivor Inga Chacón.

ANEXO 3.

Equipos utilizados para las determinaciones de las mezclas de morteros y hormigones.



Fotografía A3-1. Prensa para determinar la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm y cilindros de 20 cm de alto



Fotografía A 3-2. Mezcladora para morteros, marca Macotest, utilizada para realizar las mezclas según norma INEN 155 y 157.



Fotografía A3-3. Aparato de Vicat, utilizado para determinar el tiempo de fraguado y consistencia normal, según INEN 196.