



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO  
PARA ACABADO DE PAREDES, A PARTIR DEL HIDRÓXIDO DE  
CALCIO RESULTANTE DE LA COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA  
CALIZA”**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
ING. QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:  
DAVID MARCELO HERRERA ROBALINO**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2012**

## ***DEDICATORIA***

*A mis padres Marcela y Luis, a mi hermano  
José Luis, a Marcela y a los hechos sucedidos  
que me ha tocado vivir.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis padres y familia, amigos!*

*A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Facultad de Ciencias.*

*A la Corporación de productores de cal “Los Nevados”, al apoyo de la fundación CRECER, al apoyo del personal de laboratorio de la Cemento Chimborazo y a todas las personas que las conforman por acogerme y apoyarme, ya que sin el apoyo de éstas instituciones no habría sido posible el presente trabajo de investigación.*

*Al Ing. César Ávalos por su valiosa colaboración en la dirección de la presente tesis.*

*A la Ing. Aida Granja miembro del tribunal de tesis por sus acertadas opiniones y colaboración.*

*Al Dr. Fernando Sinchiguano por su colaboración en la presente investigación*

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE ING. QUÍMICA**

El Tribunal de Tesis certifica que el trabajo de investigación: “DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO PARA ACABADO DE PAREDES, A PARTIR DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO RESULTANTE DE LA COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA CALIZA”, de responsabilidad del señor egresado David Marcelo Herrera Robalito, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Yolanda Díaz <b>DECANA FAC. CIENCIAS</b>	-----	-----
Ing. Mario Villacrés <b>DIRECTOR ESCUELA ING. QUÍMICA</b>	-----	-----
Ing. César Ávalos <b>DIRECTOR DE TESIS</b>	-----	-----
Ing. Aída Granja <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	-----	-----
Ing. Hugo Calderón <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	-----	-----
Tec. Carlos Rodríguez <b>DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN</b>	-----	-----
<b>NOTA DE TESIS</b>	-----	

Yo David Marcelo Herrera Robalino, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en esta tesis, y el patrimonio intelectual de la tesis de grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

---

David Herrera R.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>I</b>	Índice hidráulico
<b>M</b>	Módulo hidráulico
<b>c:a:w</b>	Cemento: árido: agua
<b>i:a:w</b>	Aglomerante: árido: agua
<b>V</b>	Volumen de huecos
<b>R</b>	Rendimiento de producción
<b>CN</b>	Consistencia normal
<b>f<sub>i</sub></b>	Fraguado inicial
<b>f<sub>f</sub></b>	Fraguado final
<b>V</b>	Volumen utilizado en la muestra
<b>m</b>	Masa de la muestra
<b>ρ</b>	Densidad a través del método de Le Chatelier
<b>V<sub>2</sub></b>	Volumen final
<b>V<sub>1</sub></b>	Volumen inicial
<b>m<sub>1</sub></b>	Masa del frasco con el alcohol
<b>m<sub>2</sub></b>	Masa del frasco con la muestra
<b>AC</b>	Relación aire-combustible
<b>Q̇</b>	Flujo calórico
<b>ṁ</b>	Flujo másico
<b>N<sub>p</sub></b>	Número de moles de los productos
<b>N<sub>r</sub></b>	Número de moles de reactivos
<b>h<sub>f</sub><sup>o</sup></b>	Entalpía de formación en el estado de referencia
<b>C<sub>p</sub></b>	Poder calorífico del aire
<b>T<sub>f</sub></b>	Temperatura en el interior del horno 1000 C
<b>T<sub>a</sub></b>	Temperatura ambiente 27 C
<b>ΔH<sub>reacción</sub></b>	Entalpía de la reacción
<b>ΔS</b>	Entropía de la reacción
<b>ΔG</b>	Energía libre de Gibbs

# ÍNDICE GENERAL

## CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE CUADROS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	13
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	14
ÍNDICE DE ANEXOS.....	15
CAPÍTULO I.....	24
1. MARCO TEÓRICO.....	24
1.1. LA CAL Y SU COMPOSICIÓN.....	24
1.1.1. LA MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN.....	24
Origen químico.....	24
Origen biológico.....	25
1.1.2. ELABORACIÓN DE LA CAL Y SU COMPOSICIÓN.....	28
1.1.4. TIPOS Y USOS DE LA CAL.....	36
1.2. Morteros: definición y clasificaciones.....	45
1.3. MORTEROS DE CAL.....	46
1.3.1. MORTEROS HIDRÁULICOS.....	48
Amasado del mortero.....	51
1.4. LA CAL HIDRATADA PARA USO EN MAMPOSTERÍA.....	53
1.4.1. CLASIFICACIÓN.....	53
1.4.2. REQUISITOS.....	53
1.4. CAL HIDRÁULICA HIDRATADA PARA CONSTRUCCIÓN.....	55
1.4.1. DEFINICIONES.....	55
1.4.2. REQUISITOS.....	55
1.5.1. MÉTODO.....	56
1.5.2. CÁLCULO.....	57

CAPÍTULO II.....	58
2. PARTE EXPERIMENTAL.....	58
2.1. muestreo.....	58
2.1.1. Localización de la investigación.....	58
2.1.2. método de recolección de muestras .....	58
2.2. METODOLOGÍA.....	58
2.2.1. metodología de trabajo .....	58
2.2.2. Tratamiento de las muestras .....	58
2.2.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	59
2.3. DATOS EXPERIMENTALES .....	70
2.3.1. DIAGNÓSTICO.....	70
2.3.2. DATOS REFERENTES A LAS MATERIAS PRIMAS. ....	73
CAPÍTULO III.....	81
3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	81
3.1. CÁLCULOS.....	81
3.1.1. Cálculo del factor de concentración del CaO disponible o total en la caliza.....	81
3.1.2. BALANCE DE MASA EN EL HORNO DE PRODUCCIÓN DE CAL.....	82
3.1.3. Calculo de la rendiniento de producción .....	84
3.1.4. Balance de energía en el horno de producción de cal viva de la calera del Pacífico	85
3.1.5. Cálculo de la temperatura de operación.....	90
3.1.6. Cálculos en la dosificación de materias primas en la elaboración del producto para el acabado de paredes.....	91
3.1.8. Rendimiento del producto para acabado de paredes .....	93
3.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	94
3.2.2. RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DEI PRODUCTO PARA EL ACABADO DE PAREDES	94
3.2.3. Granulometría para el producto Albalux .....	95
3.2.4. RESULTADOS DE LA DENSIDAD DEL PRODUCTO diseñado y del producto comercial.	97
3.2.5. Comparación de densidades entre el Albalux (industrial) y el Producto para el acabado de paredes realizado. ....	97
3.2.6. RESUmEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPLEXOMÉTRICO .....	98

3.2.7.	Resultados en el espectrómetro de rayos X del Producto diseñado y el producto comercial	100
3.2.8.	Comparación de resultados entre el producto comercial y el producto diseñado	100
3.2.9.	Resultados del análisis complexométrico del Producto diseñado.....	101
3.2.10.	Resultado de la consistencia normal del Producto diseñado y del producto comercial. ....	101
3.2.11.	Comparación de resultados de consistencia normal .....	102
3.3.	Propuesta .....	103
	PROPUESTA.....	103
	ALCANCE.....	103
	Implementación de un molino de bolas para la cal y la arena .....	103
	Mejoramiento granulométrico de la materia prima para la elaboración del producto. Tablas 18 y 23 .....	103
	Implementación de una mezcladora automática .....	103
	Elaboración del producto y control de calidad .....	103
3.4.	Análisis y discusión de resultados .....	106
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	107
4.1.	CONCLUSIONES. ....	107
4.2.	RECOMENDACIONES. ....	109
	BIBLIOGRAFÍA .....	111
6.	ANEXOS .....	113
6.1.	ANEXO Nº1. NTE INEN 247 .....	113
6.2.	Anexo Nº2 NTE INEN 248.....	117
6.3.	Anexo Nº3 NTE INEN 2536.....	122
6.4.	ANEXO Nº 4. CERTIFICADO DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE CEMENTO CHIMBORAZO .....	126
6.5.	anexo Nº 5. certificado de la agencia de desarrollo de Riobamba y Chimborazo crecer....	127
6.6.	anexo nº6. tabla de tamices .....	128
6.4.	anexo nº 7. Fotografías del desarrollo de la investigación .....	131

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físico químicas de las calizas.....	28
Tabla 2 Valores de presión para el CO <sub>2</sub> .....	29
Tabla 3 Clasificación de productos hidráulicos.....	38
Tabla 4 Composición química cal hidráulica.....	40
Tabla 5 Cantidades para mortero.( Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix.).....	47
Tabla 6 Dosificación de cal.....	48
Tabla 7. Dosificación de cemento.....	49
Tabla 8. Dosificación de cemento por m <sup>3</sup> de arena.....	50
Tabla 9. Componentes de 1 m <sup>3</sup> de morteros de cemento Portland según Font.....	51
Tabla 10. Requisitos de la cal hidratada en mampostería.....	54
Tabla 11. Requisitos de la cal hidratada para construcción.....	55
Tabla 12. Datos de análisis complexométrico.....	73
Tabla 13. Carbonatos totales.....	73
Tabla 14. Porcentaje de pérdidas por calcinación.....	74
Tabla 15. Análisis en el equipo de rayos X.....	75
Tabla 16. Análisis en el equipo de rayos X como cemento.....	76
Tabla 17. Análisis en el equipo de rayos X de la arena.....	76
Tabla 18. Granulometría cal viva.....	77
Tabla 19. Granulometría cal hidratada tamizada molida.....	77
Tabla 20. Granulometría arena molida.....	78
Tabla 21. Granulometría arena sin moler.....	78
Tabla 22. Granulometría cal hidratada tamizada sin moler.....	79
Tabla 23. Densidad caliza y cal viva.....	79
Tabla 24 Datos experimentales del horno.....	80
Tabla 25. Entalpías de formación para los compuestos en la producción de cal viva.....	85
Tabla 26 Entalpías de los gases de combustión.....	88
Tabla 27. Granulometría del producto diseñado.....	94
Tabla 28. Granulometría del producto Albalux.....	95
Tabla 29. Densidad del producto diseñado y del producto comercial.....	97
Tabla 30. Resultados de análisis complexométrico.....	98
Tabla 31. Resultados del producto diseñado y del comercial en el equipo de rayos X.....	100
Tabla 32. Resultados del análisis complexométrico del producto diseñado.....	101
Tabla 33. Consistencia normal del producto comercial y el producto diseñado.....	101

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Depósitos calizos. ....	26
-----------------------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Calcinación de la cal. (Fuente: LA CAL ES UN REACTIVO QUÍMICO! Coloma Álvarez Guillermo.....	34
Figura 2. T de calcinación vs área superficial de partícula. ....	34
Figura 3. Molino amasador. (Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix) .....	52
Figura 4. Amasadora de morteros. (Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix) ..	52

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Granulometría del producto para acabado de paredes. ....	94
Gráfico 2. Granulometría Albalux .....	95
Gráfico 3. Comparación entre granulometrías.....	96
Gráfico 4. Comparación de densidades. ....	97
Gráfico 5. Resumen de datos complexométricos.....	99
Gráfico 6. Comparación de resultados espectrométricos entre el Producto diseñado y el Albalux	100
Gráfico 7. Comparación de resultados de la consistencia normal .....	102

## **ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografías de la investigación.....	131
--------------------------------------	-----

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°1. NTE INEN 247.....	113
Anexo N°2. NTE INEN 248.....	117
Anexo N°3. NTE INEN 2536.....	122
Anexo N°4. Certificado del laboratorio de control de calidad de Cemento Chimborazo..	126
Anexo N°5. Certificado de la agencia de desarrollo de Riobamba y Chimborazo CreceR.....	127
Anexo N°6. Tabla de Tamices.....	128
Anexo N°7. Fotografías de la investigación.....	131

## RESUMEN

El diseño de un proceso requerido en la elaboración de un producto para acabado de paredes a partir del hidróxido de calcio resultante de la combustión de la piedra caliza para la Corporación de productores de cal “Los Nevados”, una asociación de 20 productores ubicada en las parroquias de Calpi, Licán y San Juan de la Provincia de Chimborazo.

En la caracterización de la materia prima utilizada para el diseño del producto se realizó un análisis comparativo de materias primas a través de análisis físicos y químicos. Se determinó el porcentaje de cal hidratada para mejorar el rendimiento del diseño y se caracterizó el producto final, todo estos análisis basándose en las normas INEN 247: cal hidratada, INEN 248: cal viva, INEN 2536: áridos para morteros y la norma INEN 2589: análisis físicos, con la utilización de materiales como el espectrómetro de rayos X, el molino de bolas, los tamices, el equipo de Vicat y el frasco de Le Chatelier.

En la investigación se utilizó métodos de muestreo de la norma INEN 251 de cales, realizado en el laboratorio de control de calidad de la empresa Cemento Chimborazo.

En el diseño del producto se obtuvo un rendimiento de  $1,875 \text{ Kg/m}^2$ , una consistencia normal de 38 % y una diferencia de granulometrías entre los dos productos del 6,17%. La densidad obtenida fue de  $2,42 \text{ g/cm}^3$ , evidenciándose similitud con el producto distribuido comercialmente.

Se concluye que con la implementación de la propuesta se llegue a tener un rendimiento de producción de la cal viva del 12% y de la cal hidratada del 18%, la piedra caliza que ingresa al horno es muy heterogénea, el porcentaje más adecuado de la cal hidratada para el diseño debe ser del 80% y 20% de arena.

Se recomienda la instalación de una trituradora, un sistema de pesaje, una hidratación adecuada de la cal viva y mejorar el tiempo de residencia de la caliza en el horno.

## SUMMARY

This paper deals with the design of a process required in the elaboration of a product for wall finish from the calcium hydroxide resulting from combustion of the limestone for the Corporation of lime producers “Los Nevados”, an association of 20 producers located in Calpi, Licán and San Juan parishes of the Chimborazo province. In the characterization of the raw material used for the design of the product, a comparative analysis of raw materials was carried out through physical and chemical analyses. The hydrated lime percentage to improve the design performance was determined and the final product was characterized. All these analyses were based on the INEN 247 norms: hydrated lime, INEN 248: quicklime, INEN 2536: dry commodities for mortars and the norm INEN 2589: physical analyses with the use of materials such as spectrometer of X rays, the ball grinder, the sieves, the Vicat equipment and the Le Chatelier flask. In the investigation the sampling method of the norm INEN 251 for limes was used carried out at the quality control laboratory of the Chimborazo Cement enterprise. In the product design, a yield of  $1,875\text{Kg/m}^2$ , a normal consistency of 38% and the granulometry difference between the two products of 6,17% were obtained. The obtained density was  $2,42\text{g/cm}^3$ , a similarity being evident to the product distributed commercially. It is concluded that with the implementation of the proposal it is possible to have a production yield of quicklime of 12% and 18% hydrated lime; the limestone entering into the oven is rather heterogeneous; the most adequate hydrated lime percentage for the design must be 80% and 20% sand. It is recommended to install a grinder, a weighing system, an adequate hydration of quicklime and improve the residence time of lime in the oven.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la gran demanda existente en el país de productos derivados de la cal y sus usos varios en la industria moderna, difícilmente se puede concebir su existencia sin el uso de la cal y los materiales derivados de la piedra caliza. Literalmente se puede decir que casi todos los objetos que existen en el hogar de los seres humanos han requerido el uso de la cal o de la piedra caliza en alguna etapa de su fabricación, es decir, ya sea como materia prima o como un material necesario para el proceso de su elaboración. Alguno de estos ejemplos son el papel, el acero, los dentífricos, la pintura, plásticos, azúcar, etc.

Dada la gran cantidad de minas de piedra caliza almacenadas en los suelos de diversas comunidades en la provincia de Chimborazo, éstas representan una oportunidad para las comunidades de ingresar en el mercado ya sea como explotadores y distribuidores de ésta materia prima o a su vez como productores de cal y sus derivados, significando esto al mismo tiempo un ingreso económico y mejoramiento del nivel de vida para éstas comunidades.

Así mismo, el involucrarse en la elaboración y producción de derivados de cal, mercado que es dominado en su mayoría por empresas transnacionales o extranjeras convirtiéndose casi en un monopolio, significa un gran reto por parte de comunidades o sociedades emprendedoras, teniendo que realizar grandes esfuerzos, e incluso luchar contra grandes capitales u obstáculos en su camino para poder sacar adelante sus productos.

De lo anterior se ve la necesidad de colaboración entre la Universidad y la Comunidad, siendo el motivo de éste trabajo de investigación la ayuda a las asociaciones de productores en la implementación de nuevos productos, en el mejoramiento de rendimientos de producción y controles que se deben llevar a cabo en todas sus líneas de producción, así mismo el presente trabajo de investigación pretende ser útil en la manera de servir como un aval importante para éstas asociaciones frente a los obstáculos que se presenten en su ejecución.

- La importancia técnica del presente trabajo de investigación es el mejoramiento y control del proceso en la elaboración de cal y derivados de calidad, aptos para introducirse en el mercado altamente competitivo, lo que ayudará al desarrollo de la Corporación Productora “Los Nevados”.
- La importancia económica está dada en que la cal es la principal fuente de ingresos para los pobladores de las comunidades, más siendo ésta la actividad primaria en el desarrollo, es importante la realización de éste estudio, tomando en cuenta que la amplia variedad de derivados de la cal aún no ha sido desarrollada en la zona.

El reto que tiene la corporación “Los Nevados” es la de producir derivados de cal de calidad competitiva, motivo por el cual se realiza el estudio a través de un diseño adecuado de un producto que se puede utilizar en el acabado de las paredes, ya que en el mercado existen productos fabricados por transnacionales, siendo uno de ellos el Albalux (es el nombre comercial con el que comercializa DISENSA). Pero, para ello es necesario diseñar las operaciones unitarias necesarias para conseguir un producto similar, que entre a competir satisfactoriamente en el mercado nacional.

La Corporación de productores de cal “Los Nevados”, organización jurídica asociativa con más de 6 años de vida jurídica, nace en Noviembre del año 2005 con la participación de 8 socios y ha crecido éstos últimos años hasta 20 productores de cal y sus derivados en la provincia de Chimborazo en el cantón Riobamba en tres de sus parroquias Rurales Calpi, Licán y San Juan.

Los antes mencionados se han asociado buscando acceder a recursos de capacitación, técnicos y financieros para mejorar las condiciones de producción, mejorar la calidad de sus productos, obtención de nuevos productos, mejorar la condiciones de comercialización, acceder a nuevos mercados, obtención de certificaciones ambientales y otro tipo de beneficios comunes y organizacionales a través de los cuales pueden acceder a recursos sean estos del estado y de otras fuentes de financiamiento.

Es así que a través de la Fundación CRECER – Riobamba en calidad de promotora del proyecto se ha hecho oportuno el acercamiento a la Universidad particularmente a la Esc. Ingeniería Química de la ESPOCH para la ejecución de este proyecto.

Para alcanzar el objetivo se han desarrollado objetivos específicos, entre los que están.

- “Caracterizar la materia prima utilizada en el proceso”,
- “Caracterizar el tipo de cal producida por la corporación “Los Nevados” de acuerdo a las Normas INEN”,
- “Analizar y comparar los distintos tipos de mezclas utilizados en la elaboración del producto” y
- “Caracterizar el producto final obtenido a partir del hidróxido de calcio, resultante de la combustión de la piedra caliza”

Luego de la presente investigación se han obtenido resultados experimentales y datos de campo que sugieren procesos adecuados de la piedra caliza y la producción de derivados de cal para ser competitivos y para el sustento futuro de sus habitantes.

## ANTECEDENTES

La cal es un compuesto químico utilizado en la elaboración de productos para el acabado de las paredes (presente en un 80-87%) y morteros de albañilería. Los productos calcáreos comercialmente disponibles poseen diferente composición y propiedades importantes que deben ser consideradas en aplicaciones prácticas. Siendo las destacadas: su valor neutralizante y su tamaño de partícula.

Respecto a las características físicas de la cal hidratada, es un material que puede ser granulado o molido a diferentes tamaños de partículas, su color puede ser blanco, crema, o gris; dependerá de las impurezas contenidas en la materia prima utilizada para obtener la cal.

En la provincia de Chimborazo, hay varias minas de piedra caliza, materia prima de la cal, lo que ha motivado a los pequeños productores artesanales de cal a formar una empresa de cooperación mutua, para de esta manera elevar su nivel de vida y tener mejores oportunidades.

La corporación productora de cal "Los Nevados", que aspira competir en el mercado interno del País es una organización asociativa con más de 6 años de vida jurídica, nace en Noviembre del año 2005 con la participación de 8 socios y ha crecido éstos últimos años hasta 20 productores de cal y sus derivados en la provincia de Chimborazo en el cantón Riobamba en tres de sus parroquias Rurales Calpi, Licán y San Juan.

Sin embargo la falta de productos con mayor valor agregado y la falta de desarrollo de procesos controlados, pueden limitar o amenazar los ingresos económicos de la corporación "Los Nevados" y sus aspiraciones.

Es por ello que esta investigación trata de resolver parte de esta problemática de la corporación "Los Nevados".

## **JUSTIFICACIÓN**

La importancia técnica de abordar la problemática de la corporación productora de cal “Los Nevados” es la necesidad imperiosa del desarrollo, mejoramiento y control del proceso en la elaboración de cal y derivados de calidad, apta para introducirse en el mercado altamente competitivo.

La importancia económica está dada en que la cal es la principal fuente de ingresos para los pobladores de estos sectores, más siendo ésta la actividad primaria en el desarrollo, es urgente la intervención de éste estudio, tomando en cuenta también que la amplia variedad de derivados de la cal aún no ha sido desarrollada en la zona.

El reto que tiene la corporación “Los Nevados” es la de producir derivados de la cal de calidad competitiva, motivo por el cual se realiza el estudio a través de un diseño adecuado de un producto que sirva para utilizar en el acabado de las paredes. Pero para ello es necesario diseñar las operaciones unitarias necesarias para conseguir un producto similar, que pueda competir satisfactoriamente en el mercado nacional.

Con los resultados de este estudio se pretende diseñar un producto atractivo al consumidor, por su calidad y por su precio, para mejorar los ingresos, evitar pérdidas, crear empleo, y contribuir al crecimiento de la corporación. Lo que les permitirá acceder al financiamiento del Gobierno Central a través de sus distintos programas de apoyo a la producción y emprendimiento.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar un proceso para la elaboración de un producto para el acabado de paredes a partir del hidróxido de calcio, resultante de la combustión de la piedra caliza.

### **Objetivos específicos:**

- Caracterizar la materia prima utilizada en el proceso.
- Caracterizar el tipo de cal producida por la corporación “Los Nevados” de acuerdo a las Normas INEN.
- Analizar y comparar los distintos tipos de mezclas utilizados en la elaboración del producto.
- Determinar el porcentaje más adecuado de cal apagada para el mejor rendimiento del producto.
- Caracterizar el producto final obtenido a partir del hidróxido de calcio, resultante de la combustión de la piedra caliza.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. LA CAL Y SU COMPOSICIÓN

##### 1.1.1. LA MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN

La materia prima utilizada en la elaboración de la cal es la piedra caliza, que es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente monomineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de Mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico.

#### FORMACIÓN

Por su aspecto blanco son muy distinguibles. Las calizas se forman en los mares cálidos y poco profundos de las regiones tropicales, en aquellas zonas en las que los aportes detríticos son poco importantes. Dos procesos, que generalmente actúan conjuntamente, contribuyen a la formación de las calizas.

#### ORIGEN QUÍMICO

El carbonato de calcio se disuelve con mucha facilidad en aguas que contienen gas carbónico disuelto ( $\text{CO}_2$ ). En entornos en los que aguas cargadas de  $\text{CO}_2$  liberan bruscamente este gas en la atmósfera, se produce generalmente la precipitación del carbonato de calcio en exceso según la siguiente reacción:



Esa liberación de CO<sub>2</sub> interviene, fundamentalmente, en dos tipos de entornos: en el litoral cuando llegan a la superficie aguas cargadas de CO<sub>2</sub> y, sobre los continentes, cuando las aguas subterráneas alcanzan la superficie.

## **ORIGEN BIOLÓGICO**

Numerosos organismos utilizan el carbonato de calcio para construir su esqueleto mineral, debido a que se trata de un compuesto abundante y muchas veces casi a saturación en las aguas superficiales de los océanos y lagos (siendo, por ello, relativamente fácil inducir su precipitación). Tras la muerte de esos organismos, se produce en muchos entornos la acumulación de esos restos minerales en cantidades tales que llegan a constituir sedimentos que son el origen de la gran mayoría de las calizas existentes.

Actualmente limitada a unas cuantas regiones de las mareas tropicales, la sedimentación calcárea fue mucho más importante en otras épocas. Las calizas que se pueden observar sobre los continentes se formaron en épocas caracterizadas por tener un clima mucho más cálido que el actual, cuando no había hielo en los polos y el nivel del mar era mucho más elevado. Amplias zonas de los continentes estaban en aquel entonces cubiertas por mares epicontinentales poco profundos. En la actualidad, son relativamente pocas las plataformas carbonatadas, desempeñando los arrecifes un papel importante en la fijación del carbonato de calcio marino.

## **Procesos clásticos**

Este proceso de obtención, es por destrucción física de sedimentos calizos formados mediante procesos químicos o biológicos y que fueron re-depositados en algún lugar, ya sea por congelamiento, deshielo, erosión u otro. Una vez producidos o depositados por los procesos indicados, han estado sujetos a cambios: primero se acomodaron, luego se comprimieron y compactaron bajo presión y que al ser expuestos a altas temperaturas produjo cambios en la estructura de los depósitos, ocurrió re-cristalización y resultó una gama de depósitos calizos, tales como los indicados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Depósitos calizos.

<b>DEPÓSITOS CALIZOS</b>	<b>TIPOS DE MATERIAL</b>
<b>Calcáreos</b>	Impuras, contienen arcillas o pizarras
<b>Arcillosos</b>	Con altos contenidos de arcilla
<b>Carbónaceos</b>	Que contienen material orgánico o carbón
<b>Estalactitas y estalagmitas</b>	Obtenidas por precipitación químicas en cavernas
<b>Mármoles</b>	Granos grandes que aceptan pequeños polímeros, generalmente contienen impurezas que producen su particular aspecto. Es muy pobre para cal porque crepita
<b>Travertinos</b>	Densas, muy metamorfoseadas y en ocasiones impura, parecida al mármol
<b>Horstenos</b>	Que contienen cristales separados de horsteno, el cual es una variedad amorfa del cuarzo (sílice)
<b>Oolíticos</b>	Que contienen cristales separados de horsteno, el cual es una variedad amorfa del cuarzo
<b>Pizolíticos</b>	Parecido a la olítica pero de granos mayores.
<b>Tizas</b>	Suaves y blancas
<b>Espato de Islandia</b>	Tienen la forma más pura de carbonato de calcio, altamente cristalina, en ocasiones transparente y normalmente usada en instrumentos ópticos.
<b>Corales y rocas coralinas</b>	Normalmente conchas de locos, ostiones, etc.
<b>Densas masivas</b>	Origen biológico, frecuentemente de grano fino, siendo la principal materia prima para la fabricación de cal.

Fuente: LA CAL ;ES UN REACTIVO QUÍMICO! Coloma Álvarez Guillermo

## Utilidad

Es una roca importante como reservorio de petróleo, dada su gran porosidad. Tiene una gran resistencia a la meteorización; esto ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en caliza hayan llegado hasta la actualidad. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y de los ríos (especialmente cuando se encuentra acidulada por el ácido carbónico) provoca su disolución, creando un tipo de meteorización característica denominada kárstica. No obstante es utilizada en la construcción de enrocamientos para obras marítimas y portuarias como rompeolas, espigones, escolleras entre otras estructuras de estabilización y protección.

La roca caliza es un componente importante del cemento gris usado en las construcciones modernas y también puede ser usada como componente principal, junto con áridos, para fabricar el antiguo mortero de cal, pasta grasa para creación de estucos o lechadas para pintar superficies, así como otros muchos usos por ejemplo en industria farmacéutica o peletera. Se encuentra dentro de la clasificación de recursos naturales (RN) entre los recursos no renovables (minerales) y dentro de esta clasificación, en los no metálicos, como el salitre, el aljez y el azufre.<sup>1</sup>

Mineralógicamente, los carbonatos útiles para la fabricación de los distintos tipos de cal son: la dolomita, la aragonita y la calcita. Siendo la aragonita, relativamente escasa, ya que es la obtenida por precipitación en caliente en un proceso químico.

---

<sup>1</sup>es.wikipedia.org/wiki/Caliza

Algunas características físico químicas de las calizas se muestran en la Tabla 1<sup>2</sup>.

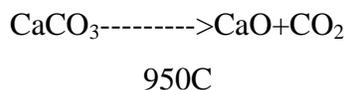
**Tabla 1. Características físico químicas de las calizas.**

<b>Nombre Mineralógico</b>	<b>Fórmula Química</b>	<b>Peso Molecular</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Dureza</b>	<b>Forma de los cristales</b>
		g/mol	g/cc	Escala de Mohs	
DOLOMITA	CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub>	184.4	2.84	3.5-4.0	Romboédrica
ARAGONITA	CaCO <sub>3</sub>	100.1	2.94	3.5-4.0	Ortorrómica
CALCITA	CaCO <sub>3</sub>	100.1	2.72	3.0	Romboédrica
MAGNESITA	MgO <sub>3</sub>	84.3	3.00	3.5-4.5	Romboédrica

**Fuente: LA CAL ES UN REACTIVO QUÍMICO! Coloma Álvarez Guillermo**

### 1.1.2. ELABORACIÓN DE LA CAL Y SU COMPOSICIÓN

Se forma óxido de calcio cuando el carbonato de calcio se quema en el aire. En gran escala se produce calentando caliza en grandes hornos de cal llamados también caleras:



La reacción es reversible, como indica la ecuación anterior. Se alcanza el equilibrio cuando en contacto con la caliza y la cal existe una determinada concentración o presión parcial de CO<sub>2</sub>. La presión de equilibrio se llama presión de descomposición del carbonato de calcio. Si a cualquier temperatura la presión parcial del CO<sub>2</sub> es inferior a la del equilibrio, se

<sup>2</sup> LA CAL ES UN REACTIVO QUÍMICO! Coloma Álvarez Guillermo

descompondrá la caliza para incrementar dicha presión al valor de equilibrio. En cambio, si la presión parcial es superior a la del equilibrio, la cal se combinará con el dióxido de carbono para formar el carbonato, y la presión descenderá la valor del equilibrio. Los valores de equilibrio para la presión del dióxido de carbono (en mm. de Hg) a diversas temperaturas y son:

**Tabla 2 Valores de presión para el CO<sub>2</sub>**

<b>Temperatura (C)</b>	<b>500</b>	<b>600</b>	<b>700</b>	<b>800</b>	<b>882</b>	<b>900</b>
<b>Presión (mmHg)</b>	0.15	2.98	31,2	208	760	784

**Fuente: LA CAL ES UN REACTIVO QUÍMICO! Coloma Álvarez Guillermo**

En la fabricación de la cal, la presión parcial del dióxido de carbono se mantiene inferior a la del equilibrio insuflando a través del horno una corriente de aire que arrastra el CO<sub>2</sub> y mantiene una atmósfera pobre en este gas. En torno a la base del horno se disponen hogares tipo horno holandés, para someter toda la carga de caliza al calor de los productos de combustión; pero sin ponerse en contacto con el combustible ardiendo. Se evita elevar mucho la temperatura en el horno para que la arena de la caliza no se combine con la cal, formando escoria. La cal producida a temperatura excesiva se llama cal muerta (cal quemada) y se apaga muy lentamente.<sup>3</sup>

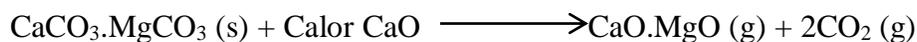
### **1.1.2.1. CLASIFICACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

De acuerdo al compuesto mineralógico, utilizado para la fabricación del óxido metálico (cal viva), esta adquiere su denominación, pudiendo ser:

#### **Dolomita**

<sup>3</sup> [www.textoscientificos.com/quimica/cales](http://www.textoscientificos.com/quimica/cales)

Es el carbonato doble de calcio-magnesio, el que al calcinarlo se descompone en óxido de calcio-magnesio (CaO.MgO), de acuerdo a la siguiente reacción química



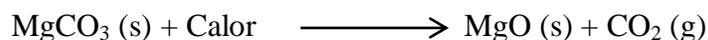
Dolomita

Cal viva dolomítica

La que usualmente contiene entre un 35% a 40% de MgO.

### **Magnesita**

Es el carbonato de magnesio, que al ser sometido a calcinación se disocia en óxido de magnesio, de acuerdo a lo siguiente:



Magnesita

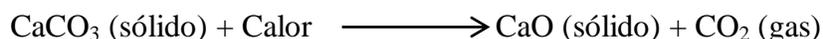
cal viva magnesia,

magnesia o periclusa

Producto con una solubilidad de  $6,8 \times 10^{-3}$  g/l a 0°C y de  $3 \times 10^{-3}$  g/l a 100°C.

### **Calcita**

Es el carbonato de calcio, que al calcinarlo se descompone en óxido de calcio (CaO) y anhídrido carbónico, de acuerdo a la siguiente reacción química:



Calcita

cal viva calcítica

El contenido de MgO fluctúa entre 0,5% a 2,5%. Si éste carbonato contiene cantidades sustanciales de sílice, alúmina, hierro, se obtiene la cal viva hidráulica.

De acuerdo al grado de calcinación y a los fundentes que contenga la materia prima, se obtiene la cal viva calcítica de alta, mediana o baja reactividad, siendo ésta reactividad la medida del tiempo de residencia que necesita la cal en el proceso de hidratación.

En forma vulgar la descarbonatación significa que cuando el calor llega al mineral de carbonato de calcio, éste inicia su descomposición y comienza a generarse el óxido de calcio y en la superficie se desarrollan las reacciones que forman el requemado de éste último, produciéndose el óxido de calcio combinado.

Por lo tanto, el grado de calcinación va a depender de varios factores, entre otros, tamaño granulométrico de la materia prima o heterogeneidad física, cantidad de calor absorbido por cada partícula para lograr la disociación, las impurezas que se enlazan al calcio, tipo de horno utilizado, etc., entonces en la reacción química para lograr la disociación en un proceso industrial, debemos tener presente que en la explotación industrial de calizas, es imposible obtener partículas geoméricamente homogéneas, mono tamaños o mono granulares; por lo general se producen partículas de diferentes tamaños, y con distinta forma. Por otro lado, la tecnología permite una calcinación adecuada cuando la relación entre el tamaño mayor y el menor es 1:3. En el horno, el calor generalmente no es constante, por lo que la disociación del CaO y el CO<sub>2</sub> es diferente, para las partículas grandes y las pequeñas. Si a ello, le agregamos que las calizas vienen con impurezas asociadas, la reacción química industrial es la siguiente:



Dónde:

El CaO, disponible(s) o total, está conformado por el CaO útil + CaO requemado + CaO crudo y por el IC(s) que corresponde a las impurezas concentradas.

El CaO útil, corresponde al CaO libre generado durante la calcinación y cuyo pH natural es 12,6. Generalmente se encuentra entre la capa superficial de la partícula, que corresponde al material requemado por sobreexposición al calor y el núcleo de ésta, que es donde queda el material crudo, sin calcinar.

El CaO quemado se encuentra en la superficie de la partícula, es el CaO que se ha combinado, por exceso de calor, durante la calcinación, con la sílice, la alúmina o el hierro contenido en las calizas y cuyo pH natural es entre 12,6 a 12,8 o más. Generalmente corresponde a la parte exterior de las partículas grandes y a la totalidad de las partículas pequeñas.

#### **1.1.2.2. IMPUREZAS**

El contenido de impurezas en los distintos tipos de cal, va a depender de las que se encuentren en la materia prima, entre las más comunes están principalmente: el silicio, el aluminio, el hierro, el azufre, el magnesio y los metales alcalinos, entre otras. En algunos casos hay trazas de fundentes y pigmentos, tales como: el manganeso y el flúor, que le otorgan al producto distintas tonalidades en su color, fluctuando desde el blanco, al beige, e incluso algunas alcanzan el negro, siendo esta última característica una propiedad física, que no altera sus propiedades de alcalinización ni su calidad en la capacidad o valor alcalinizante.

La presencia de estos elementos, puede ser muy importante en algunos usos o aplicaciones de la cal donde tanto el manganeso, como el flúor, afectan o perjudican el proceso en la cual la cal es adicionada o, quedan asociados en el residuo final que se genere

#### **1.1.3. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL CaO INDUSTRIAL<sup>4</sup>**

Como se ha mencionado anteriormente, el carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ , se calienta en los hornos rotatorios o verticales para expulsar el  $\text{CO}_2$  de la caliza ( $\text{CaCO}_3$  más impurezas) y producir óxido de calcio CaO disponible. Este proceso es llamado **calcinación**.

Las condiciones de calcinación afectan significativamente la calidad de cal viva, CaO disponible, que resulta de este proceso. Los siguientes factores son los más determinantes de la calidad del CaO total o disponible:

---

<sup>4</sup> LA CAL ES UN REACTIVO QUÍMICO! Coloma Álvarez Guillermo. p 70

- Composición química de caliza.
- Temperatura del horno durante el período de calcinación
- Tiempo de residencia de la cal en el interior del horno
- Concentración del anhídrido carbónico en la atmósfera del horno. (CO<sub>2</sub> residual)

### **Composición química de la caliza, CaCO<sub>3</sub> más impurezas**

La composición química de la caliza, carbonato de calcio con impurezas, no se puede controlar sin un impacto del mayor costo en la fabricación de cal viva, por consiguiente, se aceptan generalmente variaciones. Hay que calentar uniformemente la caliza en el horno, por eso se debe controlar continuamente la temperatura de calcinación, el tamaño de partícula debe ser relativamente uniforme. Hay que evitar largos tiempo de residencia en el horno.

El tamaño de partícula de caliza debe ser pequeño, típicamente alrededor de 1,5".<sup>5</sup> Sin embargo, debido a la naturaleza del funcionamiento del chancado, en realidad hay un rango en tamaño que va desde 1,5" a 2".

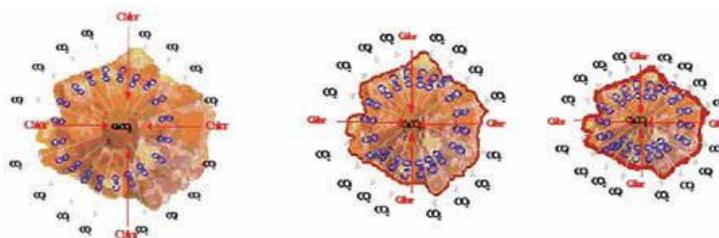
Aunque el tiempo de residencia y la temperatura en el horno son constantes, la penetración del calor en las partículas de caliza es diferente, debido a la variación del tamaño de ésta.

Como se indica en la Figura N°1, con un tamaño de mineral más grande, la primera partícula de la izquierda en la Figura N°1, el calor no penetra totalmente al centro, por consiguiente el centro de estos minerales queda crudo, como carbonato de calcio, mientras se convierte el exterior a CaO; estos núcleos o centros son llamados "arena" en la lechada de cal. Para minerales de tamaño intermedio, la penetración del calor es algo más completo y se convierte todo el mineral en CaO, generándose una capa exterior de CaO enlazado a la sílice y alúmina presente en la materia prima. Para las partículas más pequeñas, el calor ingresa rápidamente al centro y se sobrecalienta la superficie, formando una capa externa, una cáscara exterior más gruesa y algo dura, donde el agua le cuesta penetrar, por consiguiente, según el equipo utilizado para la preparación de la lechada de cal, se puede

---

<sup>5</sup> LA CAL ES UN REACTIVO QUÍMICO! Coloma Álvarez Guillermo. p 70

retardar o prevenir el proceso de apagado.

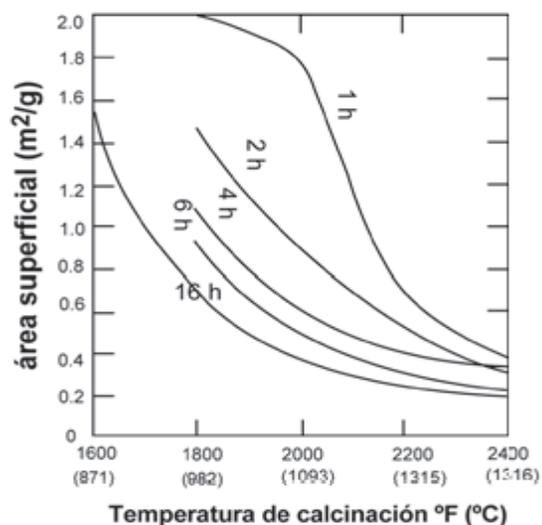


**Figura 1** Calcinación de la cal. (Fuente: LA CAL ES UN REACTIVO QUÍMICO! Coloma Álvarez Guillermo)

Así pues, según la Figura N° 1, los productos obtenidos con las partículas de tamaño grandes y medio son altamente reactivas (cal viva quemado suave) y las partículas más pequeñas, cal viva quemado duro, generalmente son de reactividad media e incluso podrían alcanzar reactividad baja si son calcinadas a “muerte”.

### Temperatura del horno

La temperatura del horno afecta la calidad del CaO producido y por ende al hidróxido resultante desde el apagado de dicha cal viva. Tamaños de partícula muy pequeños con gran superficie específica, es el producto final más deseable de óxido del calcio. En el impacto de la temperatura del horno sobre el tamaño de partícula, expresada como área superficial de las partículas hidratadas de CaO, como un polvo fino y seco.



**Figura 2.** T de calcinación vs área superficial de partícula.

En la operación industrial, el control de temperatura no se puede realizar directamente en la partícula, como tampoco es factible contar con un tamaño mono granular y una forma geométrica única de ésta, por lo que el tiempo de calcinación y el control en forma indirecta de la temperatura: son las variables que permiten de algún modo tener un control sobre una calcinación adecuada, para que el efecto sobre el área superficial sea menor.

### **Tiempo de residencia**

Durante el proceso de calcinación, el tiempo de residencia de la caliza,  $\text{CaCO}_3$  más impurezas, en el horno es muy crítico. Es importante que el tiempo de residencia sea lo más corto posible.

Sin embargo, se debe dar margen para que el calor penetre las partículas de caliza por suficiente tiempo y conduzca el  $\text{CO}_2$  fuera de ellas. La temperatura y el tiempo son variables de control de la calcinación, es decir, hay calcinaciones con baja temperatura y alto tiempo de residencia, o, con alta temperatura y bajo tiempo de residencia, siendo opción de cada fabricante elegir lo que satisface su sistema.

### **Atmósfera del horno**

Además de la temperatura del horno y del tiempo de residencia, la atmósfera del horno afecta la calidad del producto obtenido,  $\text{CaO}$  disponible. Así como aumenta la temperatura en el  $\text{CaCO}_3$  y el gas de  $\text{CO}_2$  se suelta desde la caliza, para producir  $\text{CaO}$  disponible, se debe entregar al  $\text{CO}_2$  la salida o escape necesario del horno hacia afuera. El  $\text{CaO}$  disponible tiene la afinidad de absorber humedad y  $\text{CO}_2$  para convertirse en  $\text{CaCO}_3$ . El efecto de esta conversión es más pronunciado en las partículas pequeñas de  $\text{CaO}$  debido a la mayor superficie específica de éstas.

#### 1.1.4. TIPOS Y USOS DE LA CAL

##### 1.1.4.1. CAL VIVA.

La cal viva se encuentra presente en la naturaleza, se puede sintetizar a partir del agua marina, que contiene concentraciones regulares de carbonatos de calcio y magnesio; mediante reacciones químicas y procesos fisicoquímicos, el carbonato es llevado a hidróxido de calcio, una última calcinación producirá óxido de calcio.

Antiguamente se usaba «cal» en vez de «calcio», en algunos nombres de compuestos donde interviene este elemento, como el "talco" o "aljez" (sulfato de calcio deshidratado,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) o el mármol o "gis" (carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ ).

Los depósitos sedimentarios de carbonato de calcio se llaman caliches.

Este material utilizado para hacer mortero de cal se obtiene de las rocas calizas calcinadas a una temperatura entre 900 y 1200 °C, durante días, en un horno rotatorio o en un horno tradicional, romano o árabe. En estas condiciones el carbonato es inestable y pierde una molécula de dióxido de carbono.

El óxido de calcio reacciona violentamente con el agua, haciendo que ésta alcance los 90 °C. Se forma entonces hidróxido de calcio, también llamado **cal apagada**, o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

##### 1.1.4.2. CAL HIDRATADA.

El hidróxido de calcio reacciona otra vez con el óxido de carbono (IV) del aire para formar de nuevo carbonato de calcio. En esta reacción la masa se endurece. Por esto el óxido de calcio forma parte de formulaciones de morteros, especialmente a la hora de enlucir paredes de color blanco.

La cal se ha usado, desde la más remota antigüedad como conglomerante en la construcción; también para pintar muros y fachadas de los edificios construidos con adobes o tapial, habitual en las antiguas viviendas mediterráneas, en la fabricación de fuego griego. En algunos países de Latinoamérica, la cal se utiliza para el proceso de nixtamal, proceso utilizado para hacer sémola de maíz y masa para tortillas.

### 1.1.4.3. CAL HIDRÁULICA.<sup>6</sup>

Es la cal parcialmente hidratada o apagada en polvo que, además de solidificarse o fraguar en el aire, lo hace debajo del agua. Fue ignorada por los antiguos, los cuales emplearon, los morteros a base de cal grasa y puzolanas.

VICAT, a principios del siglo XIX, descubrió las cales hidráulicas al observar que, si la caliza primitiva contiene arcilla o se le añade en proporción del 8 al 20%, el producto resultante de la cocción, reducido a polvo, por extinción, tiene propiedades hidráulicas.

Esto es debido a que en la cocción, en primer lugar, se produce una evaporación del agua de cantera hasta 110° C.; hacia los 700° C. Empiezan a descomponerse el carbonato cálcico. A temperatura más elevada reaccionan los productos resultantes: óxido de cal CaO, anhídrido silícico SiO<sub>2</sub> y alúmina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, formándose silicatos y aluminatos, y junto con el hidróxido cálcico constituyen el aglomerante llamado cal hidráulica.

**Índice hidráulico** de un aglomerante es la relación en peso entre la sílice, más la alúmina, más el hierro a la cal, más la magnesia:

$$I = \frac{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{CaO + MgO}$$

La relación inversa del índice hidráulico se llama módulo hidráulico:

$$M = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

VICAT hizo una clasificación de los productos hidráulicos teniendo en cuenta dichos índices, el tiempo de fraguado y medio de conservación:

---

<sup>6</sup> MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix. pp 259,260

**Tabla 3 Clasificación de productos hidráulicos**

Naturaleza de los productos	Índice hidráulico	% de arcilla en la caliza primitiva	Tiempo de fraguado en agua	Observaciones
Cal grasa y magra	0.0 - 0.10	0.0 - 5.3	>>	Fraguan solo en el aire
Cal poco hidratada	0.10 - 0.16	5.3 - 8.2	16 - 30	Días
Cal medianamente hidratada	0.16 - 0.31	8.2 - 14.8	10 - 15	Días
Cal propiamente hidratada	0.31 - 0.42	14.8 - 19.1	5 - 9	Días
Cal eminentemente hidratada	0.42 - 0.50	19.2 - 21.8	2 - 4	Días
Cal límite o cemento lento	0.50 - 0.65	21.8 - 26.7	1 - 12	Horas
Cemento rápido	0.65 - 1.20	26.7 - 40.0	5 - 15	Minutos

Fuente : LA CAL ES UN REACTIVO QUÍMICO! Coloma Álvarez Guillermo

**Extracción de la caliza.-** Se hace casi siempre a cielo abierto, por grandes voladuras, para obtener piedras de composición más homogénea, fragmentándolas después al tamaño conveniente al horno que las ha de cocer.

**Cocción.-** Se emplean hornos de llama larga, pero casi siempre se hace en hornos por capas (verticales).

El de Teil de forma oval, de unos 13 m de altura y 4 de diámetro mayor, disminuyendo éste en la boca o tragante y en la parrilla, la cual está constituida por un cono sobre un cilindro, para facilitar la descarga. Se echan capas alternadas de la caliza margosa y carbón de llama corta, antracita. Las paredes están provistas de ladrillo refractario y camisas aislantes, para evitar las pérdidas de calor por radiación y obtención de cal de mayor calidad.

**Apagado de la cal hidráulica.-** Esta operación requiere el máximo cuidado, pues depende de ella que el producto alcance las propiedades que se precisan, constituyendo la fase de más cuidado.

Se lleva a cabo por aspersión, regando con pulverizadores de agua fría o caliente la cal viva extendida sobre vagonetas de plataforma y amontonándola a continuación en unos fosos, cuando todavía está caliente. Sobre este montón se echa el recién regado de la operación siguiente, el cual habrá absorbido el agua por capilaridad, y el calor desprendido al apagarse la cal en la capa inferior evapora el agua todavía no combinada de las capas superiores, produciendo una corriente ascendente de vapor, que acaba por apagar todo el óxido de cal o cal viva, pero no los silicatos y aluminatos, por no alcanzar los 120° C necesarios para su hidratación. Si esta se llegara a verificar, se obtendría un producto sin propiedades físicas hidráulicas, recibiendo entonces el nombre de cales ahogadas. Si no se ha llegado por falta de agua a apagar la cal viva, ésta lo hará en la obra, pulverizándose y destruyendo los morteros.

Existen unos aparatos de fabricación continua, llamados extintores, construidos por unos cilindros de palastro, rotatorios, de 15 m de largo y 2 de diámetro, en los cuales se introduce por un extremo la cal viva recién obtenida, procedente del horno, llenándose hasta su mitad, y mediante unos pulverizadores se riega con 10% de agua y se produce la extinción o apagado.

**Tamizado.**-Se hace para separar la cal apagada de los trozos pocos o muy cocidos y que no se han pulverizado durante la extinción. Primero se hace pasar la cal por una criba de 2 a 3 cm de malla, que retienen los trozos más gruesos, y después por un cilindro de telas metálicas, 0.5 mm de luz por centímetro, que gira 80 r.p.m. alrededor de un eje inclinado. La cal en polvo que pasa a través de las mallas recibe el nombre de flor de cal

Los residuos del cernido, unos trozos de color amarillento, se llaman in cocidos, son pocos y se pueden separar a mano, y otros, de color gris verdoso, llamados recocidos o grappiers, debido a que la caliza tenía mayor proporción de arcilla y que han sufrido un principio de vitrificación. Antes estos grappiers se molían y añadían a las cales, con lo cual las mejoraba mucho; pero hoy día se emplean como cemento de grappiers de fraguado muy lento, creyéndose que están constituidos por silicatos; bicálcicos,  $\text{SiO}_2$ ,  $2\text{CaO}$ , y tricálcico,  $\text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO}$ .

**Composición química.-** Varía según sea más o menos hidráulica entre estos límites:

**Tabla 4 Composición química cal hidráulica**

SiO <sub>2</sub>	15-26%
CaO	51 - 66 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 - 10 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5 - 5 %

**Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix**

Combinados en forma de hidróxido cálcico, aluminato tricálcico y silicatos bicálcico y tricálcico.

El hidróxido de calcio, también conocido como cal muerta y/o cal apagada, es un hidróxido cáustico con la fórmula Ca(OH)<sub>2</sub>. Es un cristal incoloro o polvo blanco, obtenido al reaccionar óxido de calcio con agua. Puede también precipitarse mezclando una solución de cloruro de calcio con una de hidróxido de sodio.

Si se calienta a 512 °C, el hidróxido de calcio se descompone en óxido de calcio y agua. La solución de hidróxido de calcio en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y ataca varios metales. Se enturbia en presencia de dióxido de carbono por la precipitación de carbonato de calcio.

#### **1.1.4.4. USOS DE LA CAL**

Hoy en día, la industria moderna difícilmente podría existir sin el uso de la cal y los materiales derivados de la piedra caliza. Literalmente se puede decir que casi todos los objetos que existen en el hogar de los seres humanos, han requerido el uso de la cal o de la piedra caliza en alguna de su fabricación, es decir, ya sea como materia prima o como un material necesario para el proceso de su producción. Algunos ejemplos de estos productos son el papel, el acero, los dentífricos y otros cosméticos, el azúcar, plásticos, pintura, etc.

A continuación se enumeran algunas de las principales aplicaciones de la cal.

**Usos en la industria química.** En la industria química, la cal es el segundo material de importancia después del ácido sulfúrico.

**Pesticidas:** La cal es un material primordial en la producción de insecticidas y fungicidas.

**Blanqueadores:** Como agente absorbente y portador del cloro en muchos blanqueadores secos, la cal tiene un papel insustituible.

**Sales Inorgánicas:** Se utiliza la cal como base en la producción de la mayoría de sales inorgánicas basadas en el calcio y el magnesio.

**Químicos orgánicos:** El uso de la cal es necesario en el proceso de elaboración del etileno glicol (anticongelante permanente).

#### **Usos para mejorar el medio ambiente<sup>7</sup>**

**Tratamientos de agua:** La cal está calificada como principal material químico para tratamientos de agua, aunque el cloro es más utilizado. A la vez elimina la dureza en el tratamiento de aguas.

**Tratamiento de desperdicios:** Se utiliza cal como un agente neutralizador de ácidos, en numerosos tipos de industrias que requieren más que un simple tratamiento mecánico o bioquímico para un buen tratamiento de los desperdicios que generan.

**Para evitar la putrefacción:** Como material sanitario, la cal ha sido utilizada para evitar la putrefacción generada por heces fecales, fosas sépticas, animales en descomposición, tratamientos de desechos municipales.

**Para abatir la contaminación del aire:** El papel de la cal en la purificación del aire, se resume en que esta desulfuriza los gases que salen de las plantas industriales de carbón

---

<sup>7</sup>[www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=258](http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=258)

como también aquellos gases que salen de las plantas donde se quema mucho aceite sulfúrico.

### **Usos en la producción de alimentos**

**Azúcar:** En la producción de azúcar proveniente de la remolacha o la caña, el jugo crudo que se obtiene es tratado con cal.

**Industria Láctea:** Cuando la crema es separada de la leche entera, la cal es uno de los agentes empleados para neutralizar o reducir la acidez en la crema previo a la pasteurización en la elaboración de la mantequilla.

**Industria panadera:** El fosfato monocálcio es requerido como ingrediente para fabricar una clase de polvo de hornear. Para elaborar este fosfato monocálcio, se hace por medio de una reacción del ácido fosfórico con cal de muy alta pureza.

**Industria frutera:** En el proceso de los cítricos, la cal es empleada como un agente químico para tratar los desperdicios. A la vez la cal reduce la corrosión que se daría en los equipos de las industrias fruteras, neutralizando los ácidos cítricos que producen los desperdicios de las frutas.

Preservativo ablandador de la materia prima, para la fabricación de gelatina y cola, usos industriales misceláneos de la cal

**Petróleo y caucho:** Tiene muchos usos en la industria del petróleo, primeramente es usado en el proceso de refinamiento así como también es ocupado como un agente neutralizador de impurezas sulfúricas. Otro uso de la cal en la industria petrolera es el de minimizar la contaminación atmosférica y evitar la corrosión del equipo de la planta. Una pequeña cantidad de cal es utilizada en la producción del caucho, con el objetivo de remover excesiva humedad en este proceso.

**Cuero:** Se utiliza en algunos casos en el proceso de curtido del cuero.

**Pinturas y pigmentos:** Todos los precipitados de calcio y carbono, que son ampliamente empleados como pigmentos para pinturas, son derivados de cal.

**Fabricación de papel:** Se usa como reactivo en el proceso de digestión de la madera; para la obtención de la pulpa en la fabricación del papel.

**Industria textil:** La cal actúa como un neutralizante y precipitados de sólidos disueltos en las aguas en el proceso de acabado de textiles de algodón.

### **Usos en la agricultura**

**Fabricación de fertilizantes:** En la elaboración de fertilizantes mixtos, una pequeña cantidad de cal hidratada dolomítica es utilizada por ciertos productores en sus plantas mezcladoras.

**Neutralizador de acidez:** La cal se usa como agente neutralizador de la acidez de los suelos.

### **Usos en la industria metalúrgica**

**Acero:** En la manufactura de este material, la cal actúa como un flujo purificador del acero durante el calentamiento promoviendo la fusión de escoria y ayudando a remover el fósforo, sílice y azufre.

En la recuperación de plomo y zinc, fundente en la industria del hierro, fundente de la bauxita para la obtención del aluminio

### **Industria de la construcción**

En casi cualquier obra civil es requerido un elemento cementante, la cal fue el material cementante por excelencia hasta hace un siglo atrás, momento en el que comenzó a ser remplazada por el cemento Portland. Este nuevo material, desarrollado para propósitos estructurales, vino a revolucionar los procesos constructivos abriendo paso al comienzo de la era moderna de la industria de la construcción. A pesar de esto la cal sigue teniendo un

papel muy importante en el sector de la construcción principalmente en las siguientes aplicaciones:

**Estabilización de suelos:** Como es conocido en la práctica de la ingeniería civil, la gran mayoría de los suelos naturales no satisfacen las especificaciones para lograr construir carreteras y edificaciones a costos óptimos.

Por lo tanto, se requieren sustituir los materiales existentes en el suelo por otros materiales pre-seleccionados mediante movimientos y acarreos normalmente costosos. Para evitarlo existe un proceso de transformación, comúnmente llamado estabilización de suelos.

La estabilización de suelos es un proceso que permite la consolidación permanente de los materiales de base, por el marcado incremento de su resistencia y su capacidad de apoyo, así como la disminución de su sensibilidad al agua y a cambios de volumen durante los ciclos humedad-sequía.

**Mampostería:** El uso de la cal en mampostería, es uno de los usos más comunes y antiguos de este material. La cal ha sido utilizada desde la prehistoria como mortero para la construcción de diversas edificaciones a través de los tiempos, tanto para unir las piezas de mampostería como material de recubrimiento en paredes, pisos y techos.

Hoy en día su principal uso en la industria de la construcción es el trabajar mezclado junto con el cemento Portland para la elaboración de morteros en diversas aplicaciones.

#### **Uso de la cal en la elaboración del Albalux.**

La cal es utilizada en la presente investigación para la elaboración del Albalux, es así que el producto derivado de la cal hidratada posee las siguientes características:

- Especialmente diseñado para el acabado de paredes, previo a la aplicación de la pintura.
- Sirve como la mejor alternativa para preparar pintura a muy bajo costo.
- Se puede usar como pintura para interiores y exteriores en casas, galpones industriales, cercas, árboles, muros, galpones para cría de animales (aves, caballos, cerdos), establos, etc.

- Sirve para emporar las paredes antes de recibir pintura normal, lo que conlleva un ahorro.
- Es la manera más económica y confiable para pintar.
- Al usar como pasta para emporar las paredes, permite que se ahorre una gran cantidad de pintura, porque se filtra menos en la pared.

**Como pintura:** Mezclar un saco de ALBALUX + cuatro litros de COLA + 50 litros de agua; esta mezcla alcanza para pintar 70 metros cuadrados a dos manos.

**Como emporante de paredes:** Mezclar seis volúmenes de ALBALUX + un volumen de cemento y agregue agua hasta obtener una pasta homogénea apta para aplicar.<sup>8</sup>

## 1.2. MORTEROS: DEFINICIÓN Y CLASIFICACIONES

Los morteros se definen como mezclas de uno o más conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y a veces adiciones y/o aditivos. Entendemos por mortero fresco el que se encuentra completamente mezclado y listo para su uso.

También los morteros son mezclas plásticas obtenidas con un aglomerante, arena y agua que sirven para unir las piedras o ladrillos que integran las obras de fábrica y para revestirlos con enlucidos o revocos.

Los morteros se denominan según sea el aglomerante de yeso, cal, cemento, y llaman bastardos cuando intervienen dos aglomerantes como yeso y cal, cemento y cal, etc.

La mezcla de un aglomerante y agua se denomina pasta y se dice de consistencia normal cuando la cantidad de agua de amasado es igual a los huecos del aglomerante suelto; si es menor será seca y mayor fluida, llamándose lechada cuando se amasa con mucha agua.

### Dosificación en los morteros

El mortero es una mezcla de un aglomerante con arena y agua. El papel que desempeña la arena es puramente mecánico, para evitar las contracciones que se producen en los morteros

---

<sup>8</sup> Referencias dadas por Disensa

de cal, debido a la evaporación del agua de amasado y a la compresión producida debido al peso de la obra. En los aglomerantes hidráulicos se usa para disminuir la dosis necesaria para obtener un volumen dado con una resistencia o impermeabilidad determinada, y aminorar la retracción del fraguado.

Se suelen expresar las dosificaciones por la relación entre los volúmenes de aglomerantes y arenas; así, un volumen de aglomerante y tres de arena se representa por 1:3. En general se expresa:

Cemento:árido:agua

y abreviadamente:

c: a: w

y tomando el aglomerante como unidad:

i: a :w

En los aglomerantes hidráulicos el volumen varía mucho con la forma de medirlos y se suelen expresar en peso, la arena y el agua en volumen.

La dosificación del agua depende del aglomerante, plasticidad, clima y aplicación que se dé al mortero. En general, conviene amasar el mortero con el mínimo de agua, pues el exceso, al evaporarse, deja poros y retrasa el fraguado. En tiempo caluroso es necesario añadir más agua que en tiempo frío, pues hay que tener en cuenta la que se evapora, variando además con el procedimiento de colocación.

### **1.3. MORTEROS DE CAL**

Se emplean dosificaciones de 1 volumen de cal grasa en pasta por 2 a 4 partes en volumen de arena, y el agua será la necesaria para obtener una mezcla plástica.

Al mezclar la cal apagada y la arena se produce una contracción de volumen:

1 vol. de cal apagada + 2 vol. de arena = 2,4 vol. de mortero.

1 vol. de cal apagada + 3 vol. de arena = 3,2 vol. de mortero.

1 vol. de cal apagada + 4 vol. de arena = 4,0 vol. de mortero.

Según FONT, las cantidades de cal, arena y agua necesarias para fabricar 1 m<sup>3</sup> de mortero, son:

**Tabla 5 Cantidades para mortero.( Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix.)**

<b>TIPO</b>	<b>Dosificación en volúmenes Cal-arena</b>	<b>Cal apagada en pasta m<sup>3</sup></b>	<b>Arena m<sup>3</sup></b>	<b>Agua m<sup>3</sup></b>
De 335 Kg	1 : 1	0,555	0,555	0,110
De 240 Kg	1 : 2	0,400	0,800	0,120
De 190 Kg	1 : 3	0,315	0,945	0,125
De 160 Kg	1 : 4	0,260	1,050	0,100
De 135 Kg	1 : 5	0,220	1,100	0,100

**Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix**

Con la cal grasa se emplea a dosificación de 1: 2 y 1:3 para enlucidos de paredes y muros, y la 1:4 para cimientos y mampostería. Con la cal magra se emplea la mitad de la arena indicada para la cal grasa.

Los morteros de cal alcanzan a los ocho días un endurecimiento suficiente y continúa endureciéndose durante meses o años. Como el agua no interviene en el fraguado, se emplea la necesaria para dar una plasticidad conveniente, pues se evapora.

En tiempo de heladas no se puede emplear, aunque se calienten los ingredientes.

Con una buena cal grasa se obtienen a los veintiocho días, en morteros 1:3, resistencias de 5 Kg /cm<sup>2</sup> a la tracción y 16 Kg/cm<sup>2</sup> a la compresión.

El amasado de las cales grasas se suele hacer a mano, volcando la arena sobre la cal en pasta en los mismos sitios donde se apague y removiendo hasta obtener una mezcla lo más homogénea posible, mediante unas batideras de mango largo, con movimiento de vaivén, añadiéndose la cantidad de agua necesaria de una vez si es impermeable el lugar de amasado, o poco a poco, si no lo es.

Se amasa la pasta necesaria para dos o tres jornadas, no habiendo más que añadir un poco de agua a la pasta endurecida para que adquiera plasticidad.

Si la cal está apagada en polvo, se mezcla íntimamente con la arena, formándose un montón sobre una superficie impermeable. Se practica una corona, se vierte el agua de una sola vez y se amasa con cuidado, para que el agua no se derrame, hasta formar una mezcla homogénea.

### 1.3.1. MORTEROS HIDRÁULICOS<sup>9</sup>

Son los obtenidos con cales hidráulicas o cementos, y su característica es poder fraguar tanto en el aire como en el agua.

La dosificación del aglomerante varía con la aplicación que haya de tener el mortero, según se desee una resistencia determinada o compacidad y dureza.

Con cales hidráulicas la dosificación varía como se muestra en la tabla N°6

**Tabla 6 Dosificación de cal.**

CLASE DE OBRA	CAL POR m <sup>3</sup> DE ARENA	
	Medianamente hidráulica	Eminentemente hidráulica
	Kilogramos	Kilogramos
<b>Enlucidos</b>	500-600	600- 1000

<sup>9</sup> MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix. p 277

<b>Rellenos</b>	360-400	400- 500
<b>Muros de ladrillo</b>	300-360	350- 400
<b>Muros de piedra</b>	260-300	300- 350

Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix

Con los cementos de fraguado rápido se utilizan las siguientes dosificaciones:

**Tabla 7. Dosificación de cemento**

<b>CLASE DE OBRA</b>	<b>Kilogramos de cemento por m<sup>3</sup> de arena</b>
Enlucidos de depósitos impermeables	1.600
Enlucidos de muros y obras a la intemperie	500
Muros y bóvedas expuestas a la humedad	280
Fábricas ordinarias y hormigón en masa	220

Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix

Con el cemento Portland se suelen emplear las proporciones de 1: 1 en morteros líquidos para el relleno de juntas o grietas. La 1: 2, en morteros muy resistentes e impermeables, como en los pavimentos y enlucidos de depósitos. Las 1: 3 ó 4, en los trabajos corrientes de obras de fábrica, mampostería, cimentaciones, enlucidos a la intemperie, etc. La 1: 5 o más, cuando no se precise gran resistencia y conviene añadir cal.

Ya indicamos, al tratar de los morteros en general, que los aglomerantes hidráulicos se expresan en peso por metro cúbico de arena, por variar mucho su volumen, según como se mida. Como norma general se emplean las siguientes dosificaciones:

**Tabla 8. Dosificación de cemento por m<sup>3</sup> de arena**

<b>CLASE DE OBRA</b>	<b>Kilogramos de cemento por m<sup>3</sup> de arena</b>
Fortificaciones, obras marítimas e impermeables.	1000- 1200
Enlucidos de pavimentos	550- 1000
Enlucidos verticales	370-. 500
Obras hidráulicas	400- 450
Fábricas corrientes	250- 300
En sustitución de los morteros ordinarios	150- 200

**Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix**

La cantidad de agua varía con las aplicaciones y materiales que deba unir. Se desconoce de una manera exacta la cantidad de agua que precisa un aglomerante hidráulico para su fraguado (la pasta pura necesita del 25 al 30 por 100); hay que procurar que no falte, y si se pone en exceso, tener en cuenta si el tiempo es cálido o húmedo y la porosidad de los materiales a unir.

Los morteros amasados con poca agua dan una consistencia seca, alcanzan mayor resistencia y se emplean en climas húmedos o lluviosos, necesitando más mano de obra para su preparación, debiendo ser comprimidos. Los morteros amasados con consistencia plástica se emplean en climas secos y materiales absorbentes. Las resistencias mecánicas de los morteros de cemento Portland llega a los 500 Kg/cm<sup>2</sup> amasados secos y apisonados y corrientemente alcanzan los 200 Kg. por centímetro cuadrado.

**Tabla 9. Componentes de 1 m<sup>3</sup> de morteros de cemento Portland según Font.**

<b>Volúmenes cemento arena</b>	<b>Cemento portland Kilogramos</b>	<b>Arena Litros</b>	<b>Agua Litros</b>
1:1	920	680	270
1:2	600	880	265
1:3	440	975	260
1:4	350	1030	260
1:5	290	1070	255
1:6	250	11 00	255
1:8	190	1140	250
1:10	160	1150	250

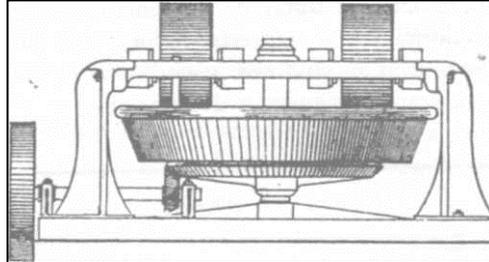
**Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix**

### **AMASADO DEL MORTERO**

Para pequeñas cantidades o en obras de poca importancia se hace a mano, mezclando el aglomerante y la arena en seco hasta alcanzar un color homogéneo. Después se hace un montón, se practica una corona en el centro y se vierte el agua de una vez. Se bate con cuidado para que no se derrame el agua y, cuando ésta ha sido absorbida, se dan varias vueltas de pala hasta quedar bien empastado.

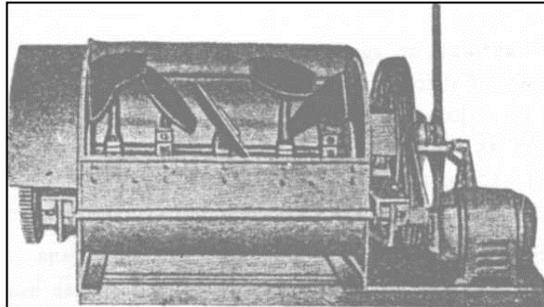
El amasado mecánico de los morteros se hace mediante molinos que, además de mezclar los componentes, los trituran, o por amasadoras análogas a las hormigoneras.

Los molinos amasadores se componen de una cubeta giratoria mediante un engranaje y dos rulos de eje horizontal, que se pueden subir o bajar según el espesor de la capa de mortero, el cual es volteado por unas paletas y dirigido debajo de los cilindros.



**Figura 3. Molino amasador. (Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix)**

Las amasadoras de morteros constan de un cilindro horizontal o inclinado, en cuyo interior se mueve un árbol provisto de aspas o hélices que baten la mezcla, pudiendo hacer un amasado continuo entrando los componentes por un extremo y saliendo por el otro.



**Figura 4. Amasadora de morteros. (Fuente: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Orús Asso Félix)**

La puesta en obra de los morteros hidráulicos debe ser lo antes posible, pues aunque suelen tardar algunas horas en empezar a fraguar, puede influir el calor o frío, haciendo que se evapore el agua o se hiele.

## 1.4. LA CAL HIDRATADA PARA USO EN MAMPOSTERÍA<sup>10</sup>

La cal hidratada para su uso posterior en mampostería se basa en las Normas INEN, específicamente en la NTE 247: 2010.

### Requisitos específicos.

**Composición química.** La cal hidratada para uso en mampostería debe cumplir con los siguientes requisitos de composición química:

#### 1.4.1. CLASIFICACIÓN

De acuerdo a esta norma se especifica los requisitos para cuatro tipos de cal hidratada: Las cales de tipo N y S son aptas para utilizarlas en mortero, en texturizado y recubrimientos de revoques de cemento, para estuco y para adición al hormigón de cemento portland. Las cales de tipo NA y SA son cales hidratadas con aire incorporado, que son apropiadas para utilizarlas en cualquiera de los usos anteriores, donde se desea las propiedades inherentes de la cal y la introducción de aire. Los cuatro tipos de cal vendidas bajo esta norma deben ser designadas como sigue:

- *Tipo N:* Cal hidratada normal para uso en mampostería<sup>11</sup>
- *Tipo S:* Cal hidratada especial para uso en mampostería
- *Tipo NA:* Cal hidratada normal con incorporador de aire para uso en mampostería
- *Tipo SA:* Cal hidratada especial con incorporador de aire para uso en mampostería

#### 1.4.2. REQUISITOS

### Requisitos específicos.

**Composición química.** La cal hidratada para uso en mampostería debe cumplir con los siguientes requisitos de composición química:

---

<sup>10</sup> NTE INEN 247 :2010

<sup>11</sup> Utilizada en la investigación

**Tabla 10. Requisitos de la cal hidratada en mampostería.**

	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>S</b>	<b>SA</b>
Óxido de calcio y magnesio (en base no volátil) % min	95	95	95	95
Dióxido de carbono (en base como se recibe), % max				
Si se toma la muestra en el lugar de fabricación	5	5	5	5
Si se toma la muestra en cualquier otro lugar	7	7	7	7
Óxidos no hidratados (en base como se recibe) % max	---	---	8	8

**Fuente: NTE INEN 247 :2010**

**Adiciones.** Los tipos NA y SA de la cal hidratada, cubiertas por esta norma, deben contener aditivos incorporadores de aire, tales aditivos deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 226

**Residuo, erupciones y descamaciones.** Los cuatro tipos de cal hidratada para uso en mampostería deben cumplir con uno de los siguientes requisitos:

- El residuo retenido sobre un tamiz No. 30 (60 µm), no debe ser mayor que 0,5%
- Si el residuo retenido sobre un tamiz No. 30 es mayor que 0,5%, la cal no debe mostrar erupciones o descamaciones cuando sea ensayada

### **Retención de Agua.**

Cuando se ensaye un mortero normalizado fabricado con cal hidratada seca o con masilla fabricada de cal hidratada, la cual ha sido humedecida por un período de 16h a 24h y luego de la succión por 60 segundos, el mortero de cal hidratada fabricado con tipo N o tipo NA, debe tener un valor de retención de agua no menor del 75%

Cuando se ensaye un mortero normalizado fabricado con cal hidratada seca en concordancia con la norma ASTM C 110, el mortero fabricado con cal hidratada tipo S o tipo SA, ensayada de acuerdo con la norma ASTM C 110, debe tener un valor de retención de agua no menor del 85%

## 1.4. CAL HIDRÁULICA HIDRATADA PARA CONSTRUCCIÓN<sup>12</sup>

### 1.4.1. DEFINICIONES

**Cal hidráulica hidratada:** Producto cementante hidratado seco, obtenido de la calcinación de caliza que contiene sílice y alúmina o una mezcla sintética de composición similar, a una temperatura cercana a la de fusión incipiente, de manera que forme suficiente cal libre (CaO) para permitir la hidratación y al mismo tiempo deje silicatos de calcio no hidratados para producir un polvo seco, que cumpla con los requisitos de propiedades hidráulicas previstos en la norma INEN 246:2010

**Cal hidráulica hidratada con alto contenido de calcio:** Cal que contiene no más del 5% de óxido de magnesio (de la parte no volátil)

**Cal hidráulica hidratada con magnesio:** Cal que contiene más del 5% de óxido de magnesio (de la parte no volátil)

### 1.4.2. REQUISITOS

#### Requisitos específicos

- **Composición química:** La cal hidráulica hidratada debe cumplir los siguientes requisitos en cuanto a composición química, calculada sobre la base no volátil:

**Tabla 11. Requisitos de la cal hidratada para construcción.**

	MINIMO	MAXIMO
Óxidos de calcio y magnesio (CaO y MgO, calculados sobre la base no volátil), en %	65	75
Sílice (SiO <sub>2</sub> , calculado sobre la base no volátil)	16	26
Óxidos de hierro y aluminio (F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , calculados Sobre la base no volátil), en %	-----	12
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> , calculado sobre la base como se recibe)	-----	8

Fuente: NTE INEN 246 :2010

<sup>12</sup> NTE INEN 246 :2010

- **Finura:** La muestra debe dejar un residuo no mayor a 0,5% en un tamiz N° 30 (60µm) y no mayor a 10 % en un tamiz No 200 (75 µm)
- **Tiempo de fraguado:** El fraguado inicial de una pasta de cal limpia, mezclada a consistencia normal, determinado por el método de la aguja de Gillmore no debe ser menor a 2 horas. El fraguado final debe ser alcanzado dentro de 24 horas
- **Solidez:** Las barras de pasta dura, cuando son fabricadas, almacenadas y curadas en autoclave, como se describe en el numeral 6.5 no deben tener una expansión mayor a 1,0 %
- **Resistencia a la compresión:** El promedio a la resistencia a la compresión de al menos 3 cubos de 50 mm de arista, fabricados, almacenados y ensayados de acuerdo al numeral 6.6, no debe ser menor que 1,7 MPa, a la edad de 7 días. El promedio de resistencia a 28 días no debe ser menor que 3,4 MPa

### **Requisitos complementarios**

- **Almacenamiento:** La cal hidráulica hidratada debe ser almacenada de tal manera que permita un fácil acceso para una inspección apropiada e identificación de cada envío y en una edificación hermética apropiada, que proteja a la cal hidráulica hidratada del deterioro.

## **1.5. CAL HIDRATADA. DETERMINACIÓN DEL RESIDUO**

Éste método indicado en la norma INEN 244 se basa en el lavado y cernido de una muestra de cal hidratada a través de tamices, para separar el residuo.

### **1.5.1. MÉTODO**

- Escoger una muestra de **100 g** de la cal hidratada tal como se distribuye en el comercio. Colocar la muestra en un tamiz de **600 µm** de abertura, el cual debe colocarse, a su vez, sobre otro tamiz de 63 µm de abertura.

- Lavar el material a través de los dos tamices por medio de un chorro de agua obtenido de un grifo. Para efectuar el lavado, debe usarse una manguera de caucho acoplado al grifo. Puede aumentarse la velocidad del chorro ajustando la manguera, pero debe impedirse que la cal salga por los lados de los tamices empujada por el agua.
- El lavado debe continuar hasta que el agua que salga de los tamices esté limpia, pero no más de 30 minutos.
- Deben tomarse las precauciones necesarias para impedir la acumulación de agua en el tamiz de 63  $\mu\text{m}$  de abertura, porque pueden obstruirse las aberturas y la operación no puede terminarse en 30 minutos.
- Secar a masa constante los residuos de ambos tamices en un ambiente libre de dióxido de carbono, a una temperatura entre 100 y 120 C

### **1.5.2. CÁLCULO**

- Pesar el residuo contenido en cada uno de los tamices. Como la muestra empleada en el ensayo pesa 100 g, la masa del residuo retenido en cada tamiz y la suma de las 2 masas indicarán directamente los porcentajes de residuos.
- Anotar los porcentajes determinados en el ensayo, para la verificación de los requisitos.

## **CAPÍTULO II**

### **2. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **2.1. MUESTREO**

##### **2.1.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se llevó a cabo en la “Calera del Pacífico” ubicada en el barrio 24 de Mayo, de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo.

##### **2.1.2. MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS**

La recolección de las muestras se llevó a cabo de acuerdo a la norma INEN 251, tomando muestras por triplicado de piedra caliza, cal viva y cal hidratada, cada una de las cuales pesaba por lo menos 2.5Kg

#### **2.2. METODOLOGÍA**

##### **2.2.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

Se trabajó con las muestras recolectadas en la “Calera del Pacífico” y una muestra del producto comercial “Albalux”, las cuales fueron recolectadas, etiquetadas de acuerdo a la muestra y al lugar de procedencia, posteriormente se llevaron al Laboratorio de Control de Calidad de la empresa Cemento Chimborazo.

##### **2.2.2. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS**

A las muestras recolectadas se les practicaron los análisis físico-químicos correspondientes, como son: el análisis granulométrico, el análisis volumétrico y gravimétrico y el análisis en el equipo de rayos X de la empresa Cemento Chimborazo.

## **2.2.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **2.2.3.1. MÉTODOS**

#### **2.2.3.1.1. MÉTODO GRAVIMÉTRICO Y COMPLEXOMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÓXIDOS DE SÍLICE, ALUMINIO, HIERRO Y CALCIO.**

### **EQUIPO**

- Mufla de 1 150 °C
- Crisoles de platino
- Vasos de diferentes medidas
- Matraces Erlenmeyer
- Embudos
- Papel filtro para finos y medios
- Platos de calefacción (250°C)
- Buretas triple vía de 50 mL
- Pipetas de 50, 20 y 5 mL
- Frascos de vidrio y plástico
- pH-metro

### **REACTIVOS**

- Acetato de amonio
- Ácido acético concentrado
- Ácido calconcarboxílico (indicador)
- Ácido clorhídrico concentrado
- Ácido sulfosalísilico (indicador)
- Amoníaco concentrado
- Complexon III (Titriplex III, EDTA)

- Hidróxido de potasio
- Pirilidazo-2-naftol (PAN indicador)
- Sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )
- Trietanolamina

## **ANALISIS GRAVIMETRICO Y COMPLEXOMETRICO**

### **A.- PARA CUALQUIER TIPO DE MUESTRA**

- 1.- Lavar y secar bien un crisol de platino y llevar a la mufla a  $1\ 000^\circ\text{C}$  por 15 minutos
- 2.- Sacar y llevar al desecador hasta obtener peso constante
- 3.- Añadir 1 g de muestra fundente ( $0,5\ \text{g}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  +  $0,5\ \text{g}$  de  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) mezclar y homogenizar. Cubrir la muestra con 2 g de mezcla fundente.
- 4.- El crisol con la muestra fundir en el mechero Fischer, luego colocar la tapa de platino e introducir en la mufla a  $1\ 000^\circ\text{C}$  por 30 minutos
- 5.- Sacar la muestra, enfriar violentamente en agua fría, la base del crisol, colocar el crisol en un plato ancho de porcelana previamente limpio
- 6.- Añadir lentamente 1 mL de agua destilada y 10 mL de ácido clorhídrico concentrado, con ayuda de una varilla de vidrio disgregar los grumos formados o pegados en el crisol
- 7.- Vaciar la muestra en el plato de porcelana lavando bien el crisol con la menor cantidad posible de agua caliente y seguir disgregando si es necesario los grumos formados
- 8.- Colocar el plato de porcelana en baño maría y evaporar a sequedad

- 9.- Disolver con 10 mL de HCl concentrado y 50 mL de agua destilada caliente, tratando de homogenizar la muestra, luego poner 10 minutos en baño maría
- 10.- Preparar el filtro, banda blanca para gruesos y un balón aforado de 250 mL. Filtrar cuidadosamente la muestra contenida en el plato de porcelana.

El filtrado recoger en el balón, lavando con agua destilada caliente, hasta que el residuo no dé reacción de cloruros con  $\text{AgNO}_3$

### **RESIDUO.- DETERMINACION DE SILICE**

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

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

### **DETERMINACION DE CATIONES**

1. Recibir el filtrado obtenido anteriormente
2. Agitar y homogenizar
3. Pipetear para

**HIERRO (Fe):** 50 mL

**ALUMINIO (Al):** 50 mL

**CALCIO (Ca):** 20 mL

**MAGNESIO (Mg):** 20 MI

**DETERMINACION DE OXIDO DE HIERRO Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- METODO  
COMPLEXOMETRICO**

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

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

**DETERMINACION DE OXIDO DE ALUMINIO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- METODO  
COMPLEXOMETRICO**

- a.- 50 ml de solución preparada
- b.- Determinar pH 3 con buffer de acetato de amonio
- c.- Agregar 10 ml de EDTA (en caso de crudo clinker y cemento) y 15 ml en caso de arcillas arenosas
- d.- Calentar hasta ebullición por 5 minutos

- e.- Agregar 5 a 6 gotas de indicador PAN
- f.- Titular con solución de Sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 0.05 M hasta cambio de coloración de amarillo a azul intenso.

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

### **DETERMINACION DE OXIDO DE CALCIO CaO METODO COMPLEXOMETRICO**

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

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

## **DETERMINACION DE OXIDO DE MAGNESIO MgO.- METODO COMPLEXOMETRICO**

- a.- Agregar con una probeta 25 ml de cloruro de amonio y 10 ml de trietanolamina al 10%
- b.- Adicionar una pequeña cantidad de ácido ascórbico (0.5 mg) y agitar
- c.- 20 ml de alícuota de solución preparada
- d.- Pocos mg de indicador thymophtalexon
- e.- Titular con EDTA hasta viraje con cambio de coloración de azul a café claro

$$\% \text{ MgO} = 2.52 * (\text{ ml EDTA} - \text{ ml CaO}) * \text{ factor EDTA}$$

### **2.2.3.1.2. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR CALCINACIÓN**

#### **EQUIPO NECESARIO**

- Balanza analítica
- Mufla
- Crisol
- Desecador
- Espátula
- Pincel
- Pinza de metal

#### **PROCEDIMIENTO**

- a.- Pesar 1 g de muestra sobre el crisol tarado y pesado

- b.- Calcinar por treinta minutos en la mufla a 1 000 °C
- c.- Sacar, dejar enfriar el crisol en el desecador por 20 minutos
- d.- Pesar el crisol
- e.- Calcular el porcentaje de pérdida por calcinación

## **CALCULOS**

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

### **2.2.3.1.3. MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DE CARBONATOS DE CALCIO TOTALES A TRAVÉS DE LA TITULACIÓN DE LA PIEDRA CALIZA.**

#### **REACTIVOS**

- Ácido clorhídrico 0,5 N
- Hidróxido de sodio 0,5 N
- Agua destilada
- Fenolftaleína

#### **EQUIPOS**

- Bureta
- Pinzas
- Erlenmeyer

#### **TITULACIÓN**

- a.- Pesar 1 gr de muestra

- b.-** Añadir 20 ml de Ácido clorhídrico 0,5 N
- c.-** Hacer hervir la solución
- d.-** Enfriar con agua destilada
- e.-** Enfriar con agua destilada
- f.-** Añadir unas gotas de fenolftaleína y titular con hidróxido de sodio 0,5 N.

#### **2.2.3.1.4. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE PLASTICIDAD**

##### **EQUIPO**

- Aparato de Vicat Modificado
- Molde
- Placa base

##### **Procedimiento de mezclado**

- a.-** Añadir 300 g de muestra a una cantidad medida de agua contenida dentro del tazón de mezclado.
- b.-** Mezclar manualmente 10 s con una espátula rígida. Cubrir la pasta para evitar la evaporación del agua.
- c.-** Insertar la paleta en el equipo y mezclar la pasta por 30 s con la mezcladora mecánica
- d.-** Remezclar por 30 s y determinar la consistencia. Si la penetración es menor que 15 mm retornar toda la pasta al recipiente, añadir agua y mezclar por 15 s. Si la penetración es mayor que 25 mm, repetir el ensayo.

Para determinar la consistencia, colocar el molde con su base mayor descansando sobre la placa base y llenarlo con pasta de muestra. Luego enrazar la pasta nivelándola con la espátula. Centrar el molde con la pasta que descansa sobre la placa de vidrio, bajo la varilla

del aparato modificado de Vicat. Colocar la varilla del aparato en contacto con la pasta y liberar la varilla. Registrar la lectura final 30 s después de que la varilla fue liberada.

$$CN = \frac{V}{m} * 100$$

Donde:

CN = Consistencia normal

V = volumen utilizado en la muestra

m = masa de la muestra

#### **2.2.3.1.5. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD POR MEDIO DEL FRASCO DE LE CHATELIER.**

##### **EQUIPO**

- Frasco de Le Chatelier

##### **REACTIVOS.**

- Alcohol etílico.

##### **Procedimiento.**

**a.-** Llenar el frasco con alcohol etílico hasta el punto en el cuello situado entre las marcas  $0\text{cm}^3$  y  $1\text{cm}^3$ . Secar el interior del frasco por encima del nivel del líquido, si es necesario, después del vertido. Registrar la primera lectura después de haber sumergido el frasco en un baño de agua.

**b.-** Introducir aproximadamente 50 g de muestra. Evitar salpicaduras y observar que la muestra no se adhiera al interior del frasco sobre el líquido. Se puede utilizar un aparato de vibración para acelerar la introducción de la muestra en el frasco y para evitar que la muestra se pegue al frasco.

c.- Después de que se ha introducido toda la muestra, colocar el tapón el en frasco y rodar el frasco en una posición inclinada, o girar suavemente describiendo un círculo para liberar el aire de la muestra. Si se añade una cantidad adecuada de muestra, el nivel del líquido debe estar en su posición final en algún punto en la serie superior de graduaciones.

e.- Tomar la lectura final después de sumergir el frasco en el baño de agua.

d.- Calcular la densidad mediante:

$$\rho = \frac{V_2 - V_1}{m_2 - m_1}$$

Donde:  $\rho$  = densidad en g/cm<sup>3</sup>

$V_2$  = Volumen final

$V_1$  = Volumen inicial

$m_1$  = masa del frasco con el alcohol

$m_2$  = masa del frasco con la muestra

#### **2.2.3.1.6. MÉTODO DE ENSAYO PARA EL TAMIZADO**

##### **EQUIPOS.**

- Tamices que deben cumplir con la NTE INEN 154. Preferiblemente los tamices deben tener una profundidad de 10 cm

##### **Análisis por tamizado de la muestra.**

a.- Seleccionar los tamices deseados y acoplarlos colocando el de mayor tamaño de malla en la parte superior.

b.- Pesar una muestra de 100 g del material a ser ensayado y colocarla sobre el tamiz superior.

**c.-** Realizar la operación de tamizado por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz acompañado de agitación para mantener la muestra en movimiento continuo sobre la malla del tamiz.

**d.-** Continuar el tamizado hasta que la cantidad que pase durante un minuto cualquier tamiz, no sea mayor al 1 % de residuo. Si se emplea el tamizado mecánico, el equipo debe ser capaz de impartir el tipo de agitación descrito en el tamizado manual. Mantener la agitación por 15 minutos.

**e.-** Pesar el residuo retenido en cada tamiz.

### **2.2.3.1.7. MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS EN EL EQUIPO DE ESPECTROMETRÍA DE RAYOS X**

#### **EQUIPOS**

- Trituradora
- Molino
- Prensa
- Pulverizadora
- Equipo de rayos X SIEMENS SRS 3000

#### **Preparación de la muestra**

**a.-** Triturar la muestra a ensayarse

**b.-** Recoger la muestra triturada y ponerla a moler

**c.-** Poner a secar completamente la muestra molida por el tiempo necesario

**d.-** Si fuese necesario a la muestra añadirla pastillas de cera grind AID ( 5 a 7 pastillas por 20 g de muestra) y llevarla a la pulverizadora.

**e.-** Prensar la muestra y preparar una pastilla para introducir en el equipo de rayos X.

### **2.2.3.1.8. MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DEL PRODUCTO PARA EL ACABADO DE PAREDES.**

#### **EQUIPOS:**

- Balanza electrónica
- Mezcladora automática
- Molino de bolas

#### **MATERIALES:**

- Arena
- Cal hidratada

#### **Elaboración del producto.**

- a.- Tomar la muestra de cal hidratada y moler durante 30 minutos
- b.- Tomar la muestra de arena y molerla durante 60 minutos
- c.- Dosificar de acuerdo a las cantidades necesarias de cal y arena y mezclarlas.

## **2.3. DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.3.1. DIAGNÓSTICO**

#### **2.3.1.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA CORPORACIÓN DE PRODUCTORES DE CAL “LOS NEVADOS”**

La Corporación de productores de cal “Los Nevados”, organización jurídica asociativa con más de 6 años de vida jurídica, nace en Noviembre el año 2005 con la participación de 8 socios y ha crecido éstos últimos año hasta 20 productores de cal y sus derivados en la provincia de Chimborazo en el cantón Riobamba en tres de sus parroquias rurales Calpi, Licán y San Juan.

Los antes mencionados se han asociado buscando acceder a recursos de capacitación, técnicos y financieros para mejorar las condiciones de producción, mejorar la calidad de

sus productos, obtención de nuevos productos, mejorar la condiciones de comercialización, acceder a nuevos mercados, obtención de certificaciones ambientales y otro tipo de beneficios comunes y organizacionales a través de los cuales pueden acceder a recursos sean estos del estado y de otras fuentes de financiamiento.

Al ser una empresa asociativa se propone la implementación de toda una planta procesadora de la piedra caliza en términos de cadena de valor que partirá desde el mejoramiento de los procesos de captación de materia prima con la implementación de Trituradoras que homogenicen el tamaño de la piedra y ésta a su vez sea transportada hacia los hornos de quema en las plantas productoras.

Igualmente se busca el tratamiento del combustible que se hará en la planta productora de la cal, previo a ser enviado a los mismos hornos como un aporte a los procesos de purificación, tratamiento y unificación del tipo de combustible como mejoramiento de la quema y disminución del impacto ambiental.

La implementación de un sistema de molienda (de la cal hidratada) adecuado para la diversificación de productos en función del tamaño de la partícula.

Un sistema de tamizado igualmente adecuado para posterior envío a ensacado que posibilite una mejor presentación y posibilidades de comercialización de los derivados de la piedra caliza.

Una de las caleras que pertenece a la Corporación de Productores de Cal “Los Nevados” es la “Calera del Pacífico”, que cuenta con la mejor infraestructura dentro de toda la organización, poseyendo las mejores instalaciones y equipos en comparación con las demás, claro está que todas en su conjunto están calificadas como artesanales.

Refiriéndonos a esta calera, siendo la más sobresaliente, hemos utilizado su producto para realizar los análisis y ensayos para caracterizar la caliza y la cal hidratada.

La producción total de esta calera de 1200 sacos de cal hidratada por semana de 25Kg cada uno. El mercado disponible para las caleras de la asociación es la Costa, principalmente las bananeras, la industria agrícola y la avícola.

El principal producto que saca al mercado la calera es el hidróxido de calcio, en mayor cantidad y la cal viva u óxido de calcio en menor proporción.

El personal que labora en la Calera del Pacífico consta de:

- 1 persona en el área administrativa.
- 3 personas en el área de producción.

La materia prima utilizada por esta calera es traída principalmente de las minas de Shobol y Ganquis ubicadas en el sector de San Juan.

En lo que respecta al proceso, la materia prima que llega es reducida en forma manual con combos y enseguida se introduce en el horno, ingresando 2 carretillas por hora, y así mismo sacan 2 carretillas por hora de cal viva. El proceso no es continuo ya que se trata de carga de materia prima y descarga de producto del horno; cada carretilla que ingresa al horno lo hace con 3 quintales por hora y cada carretilla que sale del mismo lo hace con 2 quintales por hora.

Con la presente investigación se quiere llegar a la obtención de un producto de calidad derivado de la cal hidratada, para lo que se ha realizado la caracterización de la caliza, la cal viva e hidratada y del producto objeto de ésta tesis. Cumpliéndose con lo que exigen las normas INEN correspondientes con referencia a las pruebas o ensayos físicos y químicos, así mismo con la investigación se aspira llegar a emitir sugerencias, recomendaciones y opiniones acerca del proceso y elaboración del producto deseado así como de los equipos y métodos que debería emplearse.

## 2.3.2. DATOS REFERENTES A LAS MATERIAS PRIMAS.

### 2.3.2.1. DATOS DEL ANÁLISIS COMPLEXOMÉTICO

A continuación se exponen los datos del análisis complexométrico de las materias primas utilizadas en el diseño del producto.

Tabla 12. Datos de análisis complexométrico

Composición	Muestra				
	Caliza Ganquis	Caliza Shobol	Cal Viva	Cal Hidratada Molida	Cal Hidratada Molida y Tamizada
<b>Carbonatos totales</b>	83,75	97,75	99	99,25	98,50
<b>Perdida por Calcinacion</b>	38,65	39,90	13,20	20,25	22,11
<b>SiO<sub>2</sub></b>	10,32	4,85	23,70	15,32	14,81
<b>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,53	1,34	1,62	1,52	1,09
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,60	0,77	1,48	60,19	1,92
<b>CaO</b>	47,05	52,46	58,88	55,62	58,73
<b>MgO</b>	0,47	0,33	0,51	0,66	0,84
<b>SO<sub>3</sub> (%)</b>	0,12	0,11	0,33	0,30	0,29
<b>Na<sub>2</sub>O (%)</b>	0,24	0,22	0,25	0,23	0,21
<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01
<b>Total</b>	100	100	100	100	100

Tabla 13. Carbonatos totales

Carbonatos Totales	
Muestra	% CaO <sub>3</sub>
Ganquis 1	83,75
Ganquis 2	87,25
Ganquis 3	92,25
Shobol 1	97,75
Shobol 2	95,5
Shobol 3	92,5
Promedio	91,5

- **Determinación de pérdidas por calcinación.**

**Tabla 14. Porcentaje de pérdidas por calcinación**

<b>PÉRDIDA POR CALCINACIÓN</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Peso crisol vacío (g)</b>	<b>Peso muestra (g)</b>	<b>Peso crisol + muestra calcinada (g)</b>	<b>% (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O)</b>
Ganquis 1	18,8060	1,00	19,4205	38,5500
Ganquis 2	15,9420	1,00	16,5672	37,4800
Ganquis 3	17,8989	1,00	18,497	40,1900
Shobol 1	18,2588	1,00	18,8421	41,6700
Shobol 2	18,0575	1,00	18,6278	42,9700
Shobol 3	17,4732	1,00	18,0622	41,1000
Cal Viva 1	18,2483	1,00	19,1239	12,4400
Cal Viva 2	17,9662	1,00	18,7759	19,0300
Cal Viva 3	19,8863	1,00	20,8726	1,3700
Cal Viva Molida	17,4758	1,00	18,3881	8,7700
Ca(OH) <sub>2</sub> molida y tamizada 1	18,2523	1,00	19,0445	20,7800
Ca(OH) <sub>2</sub> molida y tamizada 2	17,4687	1,00	18,2598	20,8900
Ca(OH) <sub>2</sub> molida y tamizada 3	17,8986	1,00	18,6877	21,0900
Ca(OH) <sub>2</sub> molida 1	18,0558	1,00	18,8687	18,7100
Ca(OH) <sub>2</sub> molida 2	15,9420	1,00	16,7556	18,6400
Ca(OH) <sub>2</sub> molida 3	19,8878	1,00	20,6977	19,0100
Albalux (Industrial)	17,4746	1,00	18,2273	24,7300

### 2.3.2.2. DATOS ESPECTROMÉTRICOS

- **Análisis en el equipo de Rayos X**

El análisis en el equipo de rayos X se realizó en el Laboratorio de control de Calidad de la empresa Cemento Chimborazo, para las muestras de piedra caliza, cal viva y cal hidratada.

**Tabla 15. Análisis en el equipo de rayos X**

MUESTRA	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Sum (%)	Titul o ( )
CAL VIVA SIN TAMZ	8,03	0,67	0,81	56,28	1,60	0,28	0,20	0,02	32,11	100,00	100,50
CAL VIVA MOLINO	7,94	0,67	0,81	56,19	1,59	0,27	0,21	0,02	32,30	100,00	100,30
ALBALUX	3,30	0,22	0,16	59,99	0,67	0,17	0,19	0,00	35,29	100,00	107,10
CAL SIN TAMZ A	6,45	0,68	0,99	56,78	0,51	0,27	0,22	0,02	34,09	100,00	101,40
CAL HID 2 SIN TAMZ	6,57	0,74	0,97	56,18	0,52	0,26	0,23	0,02	34,51	100,00	100,30
CAL HID 1 SIN TAMZ	5,21	0,53	0,86	58,89	0,61	0,28	0,21	0,01	33,40	100,00	105,20
CAL HIDARTADA TAMIZ	5,69	0,53	0,81	59,41	0,97	0,27	0,20	0,01	32,11	100,00	106,10
CAL HIDARTADA TAMIZ	5,53	0,44	0,75	57,86	0,82	0,27	0,19	0,01	34,13	100,00	103,30
CAL HIDARTADA TAMIZ	5,41	0,45	0,80	58,21	0,79	0,27	0,20	0,01	33,86	100,00	103,90
CAL VIVA3 A	9,47	0,71	1,47	62,33	0,78	0,77	0,23	0,01	24,23	100,00	111,30
CAL VIVA2 A	6,42	0,51	0,54	62,71	0,54	0,39	0,22	0,00	28,67	100,00	112,00
CAL VIVA1 A	15,40	1,17	1,31	54,85	0,48	0,31	0,24	0,03	26,21	100,00	97,95
ganquiz3 A	6,34	1,23	0,88	51,27	0,38	0,15	0,23	0,07	39,46	100,00	91,55
ganquiz2 A	11,70	1,36	0,90	46,77	0,31	0,18	0,28	0,02	38,47	100,00	83,52
ganquiz1 A	10,25	1,04	0,79	48,43	0,47	0,12	0,24	0,01	38,65	100,00	86,49
shobol3 A	7,40	0,83	0,59	51,05	0,42	0,16	0,20	0,02	39,34	100,00	91,16
shobol2 A	3,37	0,77	0,74	54,84	0,27	0,11	0,22	0,03	39,64	100,00	97,93
shobol 1	5,13	0,97	0,68	53,87	0,34	0,12	0,23	0,03	38,63	100,00	96,19

- **Análisis en el equipo de rayos X como cemento**

**Tabla 16. Análisis en el equipo de rayos X como cemento**

<b>MUESTRA</b>	<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<b>CaO (%)</b>	<b>MgO (%)</b>	<b>SO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>Na<sub>2</sub>O (%)</b>	<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	<b>TiO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>Sum (%)</b>
ALBALUX	6,26	1,76	-0,47	77,29	0,71	0,77	0,35	-0,02	0,04	100,00

- **Análisis en el equipo de rayos X de la arena**

**Tabla 17. Análisis en el equipo de rayos X de la arena**

arena					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	Ti <sub>2</sub> O
95,48	1,88	0,67	1,35	0,56	0,06

### 2.3.2.3. DATOS DE TAMIZADO

El tamizado se realizó en el equipo de tamizaje de la empresa Cemento Chimborazo para muestras de 100g para la cal viva y la cal hidratada y de 500g para la arena como requiere la norma INEN 2536.

- **Granulometría de cal viva**

Tabla 18. Granulometría cal viva

Determinación Granulométrica de Cal Viva (100g)						
$\mu\text{m}$	N° de Tamiz	Peso retenido/tamiz (g)	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Pasa/tamiz	% Acumulado Pasa
250	60	33,80	34,03	34,03	66,20	65,97
212	70	4,51	4,54	38,57	95,49	61,43
150	100	7,85	7,90	46,47	92,15	53,53
75	200	14,81	14,91	61,38	85,19	38,62
63	230	4,47	4,50	65,88	95,53	34,12
53	270	17,83	17,95	83,83	82,17	16,17
45	325	8,53	8,59	92,42	91,47	7,58
25,4	500	7,39	7,44	7,44	92,61	92,56
Residuo		0,14	0,14	100,00	99,86	0,00
Sumatoria		99,33				

- **Granulometría cal hidratada tamizada**

Tabla 19. Granulometría cal hidratada tamizada molida

Determinación Granulométrica de Cal hidratada tamizada-molida (30min-100g)						
$\mu\text{m}$	N° de Tamiz	Peso retenido/tamiz (g)	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Pasa/tamiz	% Acumulado Pasa
250	60	0,08	0,08	0,08	99,92	65,97
212	70	0,11	0,11	0,19	99,89	99,81
150	100	0,31	0,31	0,50	99,69	99,50
75	200	6,25	6,26	6,76	93,75	93,24
63	230	9,32	9,33	16,09	90,68	83,91
53	270	12,58	12,59	28,68	87,42	71,32
45	325	38,93	38,97	67,64	61,07	32,36
25,4	500	29,14	29,16	29,16	70,86	70,84
Residuo		3,19	3,20	100,00	96,81	0,00
Sumatoria		99,91				

- Granulometría arena molida

Tabla 20. Granulometría arena molida

Determinación Granulométrica de Arena molida (1 hora-100g)						
$\mu\text{m}$	N° de Tamiz	Peso retenido/tamiz (g)	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Pasa/tamiz	% Acumulado Pasa
250	60	0,00	0,00	0,00	100,00	65,97
212	70	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
150	100	0,01	0,01	0,01	99,99	99,99
75	200	0,03	0,03	0,04	99,97	99,96
63	230	0,05	0,05	0,09	99,95	99,91
53	270	0,09	0,09	0,18	99,91	99,82
45	325	77,45	77,96	78,14	22,55	21,86
25,4	500	21,61	21,75	21,75	78,39	78,25
Residuo		0,11	0,11	100,00	99,90	0,00
Sumatoria		99,35				

- Granulometría de la arena sin moler

Tabla 21. Granulometría arena sin moler

Determinación Granulométrica de arena sin moler ( muestra 500g)							
unidad	N° de Tamiz	Peso retenido/tamiz (g)	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Pasa/tamiz	% Acumulado Pasa	Norma INEN
4,75mm	4	0,00	0,00	0	500,00	100,00	100
2,36mm	8	1,46	0,29	0,29	498,54	99,71	95 a 100
1,18mm	16	18,19	3,64	3,93	481,81	96,07	70 a 100
600	30	135,47	27,11	31,04	364,53	68,96	40 a 75
300	50	213,58	42,74	73,79	286,42	26,21	10 a 35
150	100	95,37	19,09	92,87	404,63	7,13	2 a 15
75	200	29,02	5,81	98,68	470,98	1,32	0 a 5
Residuo		6,60	1,32	100,00	493,40	0,00	
Sumatoria		499,69					

- **Granulometría cal hidratada tamizada sin moler**

**Tabla 22. Granulometría cal hidratada tamizada sin moler**

<b>Determinación Granulométrica de Cal hidratada tamizada sin moler (500g)</b>						
<b>unidad</b>	<b>N° de Tamiz</b>	<b>Peso retenido/tamiz (g)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Acumulado Retenido</b>	<b>% Pasa/tamiz</b>	<b>% Acumulado Pasa</b>
4,75m m	4	0,00	0,00	0,08	500,00	99,92
2,36m m	8	0,00	0,00	0,00	500,00	100,00
1,18m m	16	0,41	0,08	0,08	499,59	99,92
600	30	5,20	1,04	1,12	494,80	98,88
300	50	45,08	9,02	10,14	454,92	89,86
150	100	67,01	13,41	23,55	432,99	76,45
75	200	73,31	14,67	38,22	426,69	61,78
Residuo		308,75	61,78	100,00	191,25	0,00
Sumatoria		499,76				

#### 2.3.2.4. DATOS DE DENSIDAD DE LA PIEDRA CALIZA Y LA CAL VIVA

La determinación de la densidad se realizó a través del Método del frasco de LeChatelier en el laboratorio con una muestra de 300g en el Laboratorio de Control de Calidad de la Cemento Chimborazo.

**Tabla 23. Densidad caliza y cal viva**

<b>Muestra</b>	<b>Volumen inicial (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen final (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	$\rho = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{g}{cm^3}$
Caliza Ganquis	0,6	19,4	344,7	394,7	2,66
Caliza Shobol	0,6	19,3	344,3	394,2	2,67
Cal Viva	0,7	21,8	345,6	411,00	3,09

#### 2.3.2.5. DATOS DEL PRODUCTO COMERCIAL ALBALUX

El producto comercial "Albalux" en sus especificaciones técnicas detalla que se utiliza una cantidad de agua de 135 ml para cubrir una superficie de 0,189 m<sup>2</sup> con la cual se llega a obtener un factor de conversión:

$$\frac{0,189m^2}{135ml\ agua}$$

### 2.3.2.6. DATOS EXPERIMENTALES DEL HORNO DE LA CALERA EL PACÍFICO

**Tabla 24 Datos experimentales del horno**

Volumen de combustible por día(gal)	243
Densidad del combustible (g/cm <sup>3</sup> )	0,89
Flujo másico del combustible (Kg/h)	34,18
Masa de aire en el horno	21,9621

**Fuente:** "Optimización del proceso de combustión en la producción de cal viva". Tesis Lucía Gonzáles. Ing. Química 2012

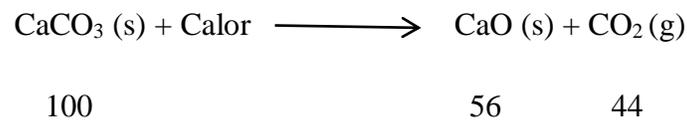
## CAPÍTULO III

### 3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. CÁLCULOS

##### 3.1.1. CÁLCULO DEL FACTOR DE CONCENTRACIÓN DEL CaO DISPONIBLE O TOTAL EN LA CALIZA

La reacción de descarbonatación del carbonato de calcio,



Indica que el factor de concentración en un horno, con 100% de eficiencia, o estado ideal, será la relación  $\text{CaCO}_3/\text{CaO}$ , es decir:

$$\text{FC} = 100/56 = 1,786$$

Por lo tanto:

Factor de Concentración = 1,786.

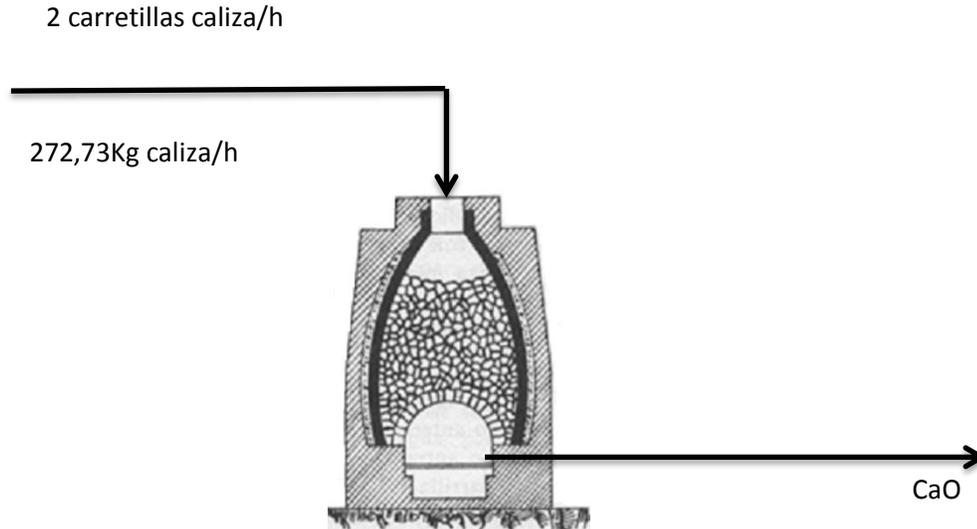
Ahora para la presente investigación se utiliza una caliza de 91,5 % de pureza, es decir tiene un 8,5 % de impureza. Por lo tanto para el cálculo del % de CaO disponible o total se tiene:

$$\%CaO = 56 * \frac{91,5}{100} = 51,24 \text{ disponible o total}$$

Y para el  $\text{CO}_2$

$$\%CO_2 = 44 * \frac{91,5}{100} = 40,26$$

### 3.1.2. BALANCE DE MASA EN EL HORNO DE PRODUCCIÓN DE CAL



En la calera se procesan 2 carretillas por hora, cada carretilla tiene un peso de 3 quintales de piedra caliza:

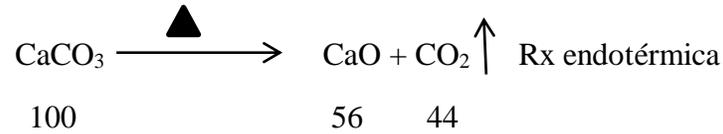
$$\frac{6qq}{h} * \frac{100lb}{1qq} * \frac{1Kg}{2,2lb} = \frac{272,73Kg}{h} \text{ piedra caliza}$$

Si %  $\text{CaCO}_3 = 91,50$  entonces:

Carbonato:

$$\frac{272,73 \text{ kg caliza}}{h} * \frac{91,50KgCaCO_3}{100Kgcaliza} = 249,54KgCaCO_3/h$$

Tomando en cuenta la reacción de descarbonatación en el horno:

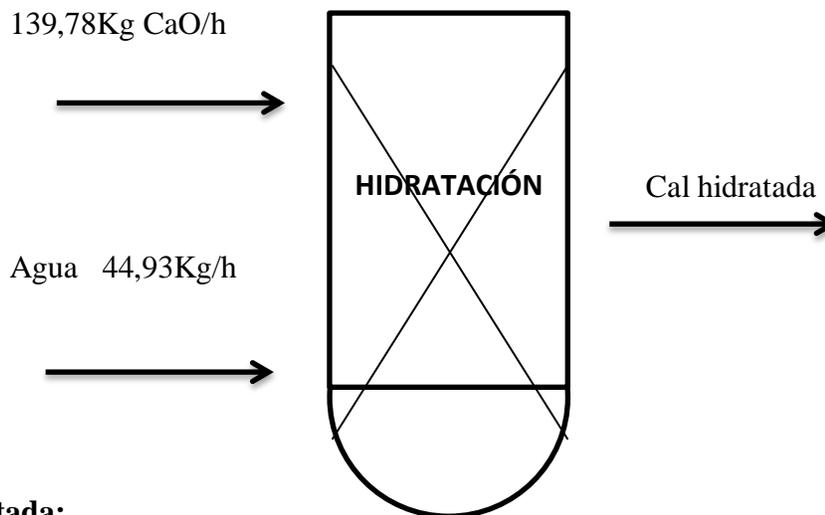


CaO:

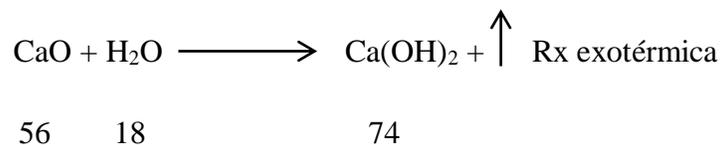
$$\frac{249,55 \text{Kg CaCO}_3}{h} * \frac{56 \text{Kg CaO}}{100 \text{Kg CaCO}_3} = \frac{139,78 \text{Kg CaO}}{h}$$

CO<sub>2</sub>:

$$\frac{249,55 \text{Kg CaCO}_3}{h} * \frac{44 \text{Kg CO}_2}{100 \text{Kg CaCO}_3} = \frac{109,80 \text{Kg CO}_2}{h} \uparrow$$



**Cal hidratada:**



Siendo ésta una reacción puramente exotérmica.

Cal hidratada:

$$\frac{249,55\text{Kg CaCO}_3}{h} * \frac{56\text{KgCaO}}{100\text{KgCaCO}_3} * \frac{74\text{KgCa(OH)}_2}{56\text{KgCaO}} = \frac{184,67\text{KgCa(OH)}_2}{h}$$

Agua:

$$\frac{139,78\text{kg CaO}}{h} * \frac{18\text{KgH}_2\text{O}}{56\text{Kg CaO}} = \frac{44,93\text{KgH}_2\text{O}}{h}$$

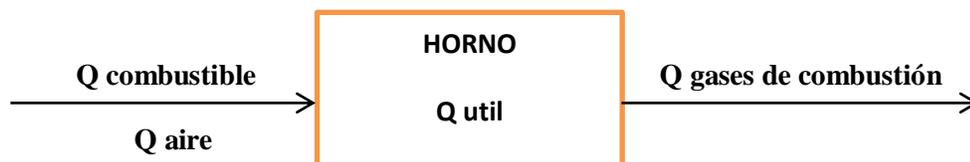
### 3.1.3. CALCULO DE LA RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN

$$R = \frac{\text{Valor práctico}}{\text{Valor teórico}} * 100$$

$$R = \frac{139,78}{249,54} * 100$$

$$R = 56,01\%$$

### 3.1.4. BALANCE DE ENERGÍA EN EL HORNO DE PRODUCCIÓN DE CAL VIVA DE LA CALERA DEL PACÍFICO



#### 3.1.4.1. CÁLCULO DE CALOR ÚTIL NECESARIO PARA LA DISOCIACIÓN DE $\text{CaCO}_3$

$$\Delta H_{\text{reacción}} = \Delta H_{\text{formación de productos}} - \Delta H_{\text{formación de reactivos}}$$

Tabla 25. Entalpías de formación para los compuestos en la producción de cal viva

Compuesto Químico	Entalpía de Formación (Kcal/mol)
$\text{CaCO}_3$	-289,5
$\text{CaO}$	-151,7
$\text{CO}_2$	-94,054

Fuente: PERRY R. Manual del Ingeniero Químico

$$\Delta H_{\text{reacción}} = [(H_{\text{formación CaO}} + H_{\text{formación CO}_2}) - H_{\text{formación CaCO}_3}] \text{Kcal/mol}$$

$$\Delta H_{\text{reacción}} = \{-151,7 + (-94,054)\} - (-289,5) \text{Kcal/mol}$$

$$\Delta H_{\text{reacción}} = (-245,754 + 289,5) \text{Kcal/mol}$$

$$\Delta H_{\text{reacción}} = 43,746 \text{Kcal/mol}$$

Entonces el calor mínimo necesario para la disociación es:

$$Q_{\text{mín}} = 43,746 \frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{Kmol CaO}}{56 \text{KgCaO}} \times \frac{1000 \text{mol}}{1 \text{Kmol}}$$

$$Q_{\text{mín}} = 781,18 \frac{\text{Kcal}}{\text{KgCaO}}$$

Y el flujo de calor útil necesario para la producción de  $139,78 \frac{kg CaO}{h}$  será:

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = 781,18 \frac{Kcal}{Kg CaO} \times 139,78 \frac{kg CaO}{h}$$

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = 100387,2 \frac{Kcal}{h}$$

El valor calórico aportado por el combustible será mediante la referencia del poder calorífico neto de dicho combustible:

$$\dot{m} = 34,18 \frac{Kg}{h}$$

$$\dot{Q}_{\text{combustible}} = 9651 \frac{Kcal}{Kg} \times 34,18 \frac{Kg}{h}$$

$$\dot{Q}_{\text{combustible}} = 329851,88 \frac{Kcal}{h}$$

Ahora se debe determinar el calor suministrado por cada Kg de cal viva, conociendo que el flujo de producción es  $139,78 \frac{kg CaO}{h}$ , entonces:

$$Q_{\text{suministrado para producción}} = \frac{329851,88 \frac{Kcal}{h}}{139,78 \frac{kg CaO}{h}}$$

$$Q_{\text{suministrado para producción}} = 2359,79 \frac{Kcal}{kg CaO}$$

- **Cálculo de la Relación aire combustible**

El valor requerido de la masa de combustible se obtiene mediante la formula de la densidad.

$$\rho = 0,8916 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 0,8916 \frac{g}{cm^3} \times \frac{1Kg}{1000g} \times 0,92 m^3 \times \frac{(100)^3 cm^3}{1m^3}$$

$$m = 820,27Kg$$

Entonces la relación aire-combustible será:

$$AC = \frac{masa_{aire}}{masa_{combustible}}$$

$$AC = \frac{21,9621 (4,76) kmol Aire \times \frac{29 Kg Aire}{kmol Aire}}{820,27 Kg de Combustible}$$

$$AC = 3,696 \frac{Kg Aire}{Kg Combustible}$$

### 3.1.4.2. CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR APORTADO POR EL AIRE

Y ahora se puede determinar el flujo másico de aire:

$$\dot{m}_{aire \text{ suministrado}} = AC \times \dot{m}_{combustible}$$

$$\dot{m}_{aire \text{ suministrado}} = 3,696 \frac{Kg Aire}{Kg Combustible} \times 34,18 \frac{Kg Combustible}{h}$$

$$\dot{m}_{aire \text{ suministrado}} = 126,322 \frac{Kg Aire}{h}$$

Lo que servirá para determinar el flujo de calor aportado por el aire:

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire} C_p (T_f - T_a)$$

**Donde:**

$\dot{Q}_{aire}$  = Flujo de calor suministrado de acuerdo a la cantidad de combustible inflamado durante un día.

$\dot{m}_{aire}$  = Flujo másico de aire

$C_p$  = Poder calorífico del aire

$T_f$  = Temperatura en el interior del horno 1000°C

$T_a$  = Temperatura Ambiente 27°C

$$\dot{Q}_{aire} = 126,322 \frac{Kg}{h} \times 1,005 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K} (1273 - 300)^\circ K$$

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = 126,322 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 1,005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} (1273 - 300)^\circ\text{K}$$

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = 123525,86 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \times \frac{1\text{Kcal}}{4,18\text{KJ}}$$

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = 29551,64 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

### 3.1.4.3. CÁLCULO DEL CALOR GENERADO POR LOS GASES DE COMBUSTIÓN

$$Q = \sum N_p (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p - \sum N_r (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_r$$

$Q$  = Calor de transferencia

$N_p$  = Número de moles de los productos

$N_r$  = Número de moles de los reactivos

$h_f^\circ$  = Entalpía de formación en el estado de referencia.

$\bar{h}_{333^\circ\text{K}}$  = Entalpía del gas a la temperatura de entrada del combustible (60°C)

$\bar{h}_{1273^\circ\text{K}}$  = Entalpía del gas a la temperatura de combustión del combustible en el horno (1000°C)

**Tabla 26 Entalpías de los gases de combustión**

Sustancia	$h_f^\circ$	$\bar{h}_{333^\circ\text{K}}$	$\bar{h}_{1273^\circ\text{K}}$
$\text{O}_2$	0	9456,8	41060,7
$\text{N}_2$	0	9684,3	39249,65
$\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$	-241820	11077,4	47600,5
$\text{CO}_2$	-393520	10686,7	57983,05
$\text{CO}$	-110530	9684,6	39602,5

Fuente: CENGEL YUNUS A., Termodinámica Tomo II.

$$Q_{\text{gases producidos}} = \sum N_p (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p$$

$$Q_{gases\ producidos} = 10,55 \text{KmolCO}_2(-393520 + 57983,05 - 10686,7) \frac{KJ}{\text{KmolCO}_2} + 0,0025 \text{KmolCO}(-110530 + 39602,5 - 9684,6) \frac{KJ}{\text{KmolCO}} + 9,0817 \text{KmolH}_2\text{O}(-241820 + 47600,5 - 11077,4) \frac{KJ}{\text{KmolH}_2\text{O}} + 6,87 \text{KmolO}_2(0 + 41060,7 - 9456,8) \frac{KJ}{\text{KmolO}_2} + 82,5775 \text{KmolN}_2(0 + 39249,65 - 9684,3) \frac{KJ}{\text{KmolN}_2}$$

$$Q_{gases\ producidos} = 10,55 \text{KmolCO}_2(-346223,65) \frac{KJ}{\text{KmolCO}_2} + 0,0025 \text{KmolCO}(-80612,1) \frac{KJ}{\text{KmolCO}} + 9,0817 \text{KmolH}_2\text{O} \times (-205296,9) \frac{KJ}{\text{KmolH}_2\text{O}} + 6,87 \text{KmolO}_2(31603,9) \frac{KJ}{\text{KmolO}_2} + 82,5775 \text{KmolN}_2(29565,35) \frac{KJ}{\text{KmolN}_2}$$

$$Q_{gases\ producidos} = -3652659,508 \text{KJ} - 201,530 \text{KJ} - 1864444,857 \text{KJ} + 217118,793 \text{KJ} + 2441432,69 \text{KJ}$$

$$Q_{gases\ producidos} = (-5517305,895 + 2658551,483) \text{KJ}$$

$$Q_{gases\ producidos} = -2858754,412 \text{KJ}$$

- **Determinación del calor perdido en la eliminación de gases de combustión por Kg de combustible**

$$Q_{gases\ producidos} = \frac{-2858754,412 \text{KJ}}{820,27 \text{Kg Combustible}}$$

$$Q_{gases\ producidos} = -3485,14 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg Combustible}}$$

Entonces el flujo de calor perdido por los gases de combustión será:

$$\dot{Q}_{gases\ producidos} = \dot{m} Q$$

$$\dot{Q}_{gases\ producidos} = 34,178 \frac{\text{Kg Combustible}}{\text{h}} \times -3485,14 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg Combustible}}$$

$$\dot{Q}_{gases\ producidos} = -119115,06 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{Kcal}}{4,18 \text{KJ}}$$

$$\dot{Q}_{gases\ producidos} = -28496,43 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

### 3.1.5. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN

Compuesto Químico	$\Delta H$ (Kcal/mol)	$\Delta S$ (cal/mol K)	$\Delta G$ (Kcal/mol)
CaCO <sub>3</sub>	-289,5	22,20	-269,78
CaO	-151,7	9,50	-144,40
CO <sub>2</sub>	-94,054	51,06	-94,26

Fuente: Fuente: PERRY R. Manual del Ingeniero Químico

- Cálculo de la entalpía de reacción

$$\Delta H_{reacción} = \Delta H_{formación\ de\ productos} - \Delta H_{formación\ de\ reactivos}$$

$$\Delta H_{reacción} = [(H_{formación\ CaO} + H_{formación\ CO_2}) - H_{formación\ CaCO_3}] Kcal/mol$$

$$\Delta H_{reacción} = \{[-151,7 + (-94,054)] - (-289,5)\} Kcal/mol$$

$$\Delta H_{reacción} = (-245,754 + 289,5) Kcal/mol$$

$$\Delta H_{reacción} = 43,746 Kcal/mol$$

- Cálculo de la entropía estándar de reacción

$$\Delta S = \sum \Delta S_{productos} - \sum \Delta S_{reactivos}$$

$$\Delta S = \frac{(9,50 + 51,06)cal}{molK} - \frac{22,20cal}{molK}$$

$$\Delta S = 38,36cal/molK$$

$$\Delta S = 0,03836Kcal/molK$$

- Cálculo de la energía libre de Gibbs

$$\Delta G = \sum \Delta G_{productos} - \sum \Delta G_{reactivos}$$

$$\Delta G = \frac{(-144,40 - 94,26)Kcal}{mol} - \frac{-269,78Kcal}{mol}$$

$$\Delta G = \frac{31,12Kcal}{mol}$$

De acuerdo al valor de la energía de Gibbs que es positiva resulta que la reacción no es espontánea.

Ahora se aplica las siguientes ecuaciones:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

$$\Delta G = RT\ln K \quad (2)$$

Igualando (1) y (2).

$$\Delta H - T\Delta S = RT\ln K$$

Ahora la constante de equilibrio  $K$  se calcula en base a los coeficientes de actividad de reactivos y productos.

$$K = \frac{\gamma_{CO_2} * \gamma_{CaO}}{\gamma_{CaCO_3}}$$

$$K = \frac{0,53 * 0,60}{0,45}$$

$$K = 0,71$$

De la relación termodinámica se despeja la temperatura

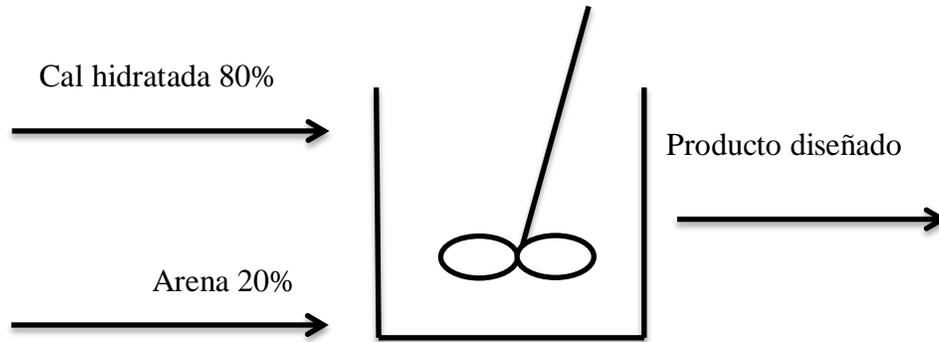
$$T = \frac{\Delta H}{R\ln K + \Delta S}$$

$$T = \frac{43746}{1,98(-0,34) + 38,36}$$

$$T = 1160,78K = 887,63C$$

### 3.1.6. CÁLCULOS EN LA DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN LA ELABORACIÓN DEL PRODUCTO PARA EL ACABADO DE PAREDES.

Se escoge los porcentajes del 80% para la cal hidratada y del 20% para la arena debido a que la referencia que se tiene para el diseño del producto o a las características a las cuales se quiere llegar es del producto Albalux comercializado por “Disensa” el cual en su especificación técnica contiene entre un 80 % a un 90 % de Cal Hidratada, es por ello que se adoptan estos porcentajes, los cuales por medio de los análisis resultaron los adecuados.



Se ha realizado los ensayos para la elaboración del producto en base a una cantidad de 500g de muestra, así se tiene:

**Cal hidratada:**

$$500g \text{ muestra} * \frac{80g \text{ cal hidratada}}{100g \text{ muestra}} = 400g \text{ cal hidratada}$$

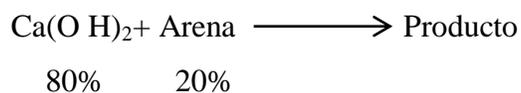
Se tiene: 400 g de cal hidratada

**Arena:**

$$500g \text{ muestra} * \frac{20g \text{ arena}}{100g \text{ muestra}} = 100g \text{ arena}$$

Se tiene: 100 g de arena molida

### 3.1.7. BALANCE DE MASA DEL PRODUCTO PARA ACABADO DE PAREDES



- Tomando en cuenta el porcentaje de pureza

$$\frac{184,67KgCa(OH)_2}{h} * \frac{20Kg \text{ arena}}{80KgCa(OH)_2} = 46,17Kg \frac{\text{arena}}{\text{hora}}$$

Se tiene que la producción de la materia prima para el producto diseñado es de 184,67Kg/h de  $\text{Ca(OH)}_2$  y la cantidad necesaria de  $\text{Ca(OH)}_2$  para producir 500 g de producto es de 400g entonces se tiene:

$$\frac{184670g \text{ Ca(OH)}_2}{h} * \frac{500g \text{ producto diseñado}}{400g \text{ Ca(OH)}_2} = 230837,5g \text{ producto} \frac{\text{diseñado}}{h}$$

$$= \frac{230,84Kg \text{ Producto diseñado}}{h}$$

### 3.1.8. RENDIMIENTO DEL PRODUCTO PARA ACABADO DE PAREDES

En el producto comercial se utiliza una cantidad de agua de 135 ml para cubrir una superficie de 0,189 m<sup>2</sup> de una muestra de 300g, ahora para el producto diseñado con un volumen de 114ml para una muestra de 300g se tiene:

$$114ml \text{ agua} * \frac{0,189m^2}{135ml \text{ agua}} = 0,16m^2$$

Es decir el producto diseñado cubre una superficie de 0,16m<sup>2</sup> por cada 300g de producto, por lo tanto su rendimiento es de 1,875Kg producto/m<sup>2</sup>

### 3.2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.2.2. RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DEL PRODUCTO PARA EL ACABADO DE PAREDES

Tabla 27. Granulometría del producto diseñado

Determinación Granulométrica del producto para acabado de paredes (100g)						
$\mu\text{m}$	N° de Tamiz	Peso retenido/tamiz (g)	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Pasa/tamiz	% Acumulado Pasa
250	60	0,05	0,05	0	99,95	100,00
212	70	0,06	0,06	0,11	99,94	99,89
150	100	0,46	0,46	0,57	99,54	99,43
75	200	3,28	3,29	3,86	96,72	96,14
63	230	4,65	4,66	8,52	95,35	91,48
53	270	6,57	6,59	15,11	93,43	84,89
45	325	15,86	15,90	31,01	84,14	68,99
25,4	500	68,46	68,64	68,64	31,54	31,36
Residuo		0,35	0,35	100,00	99,65	0,00
Sumatoria		99,74				

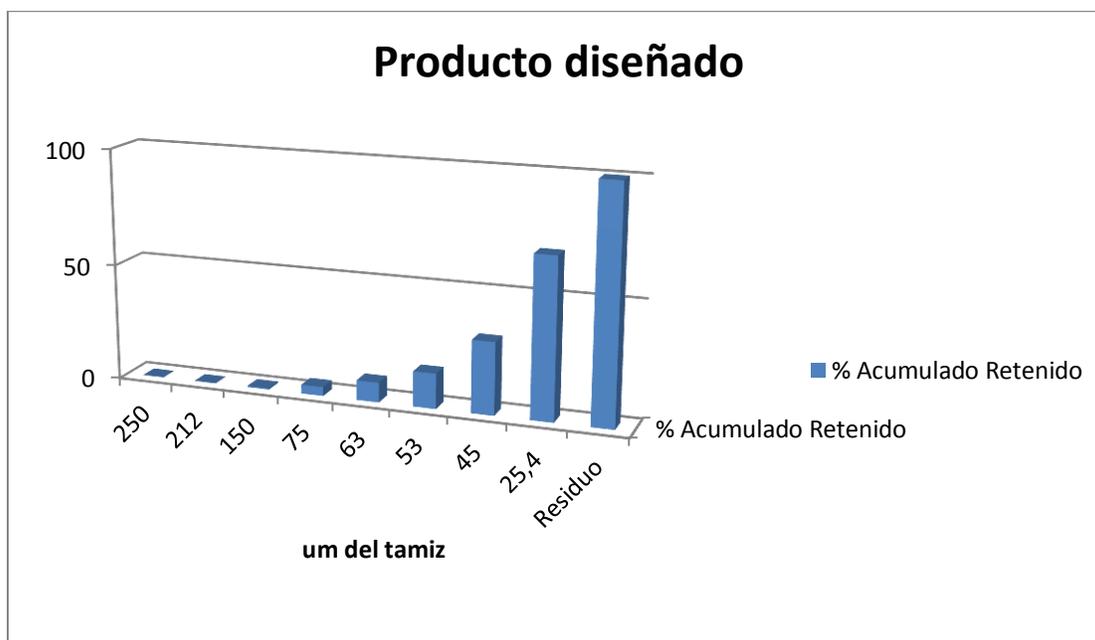


Gráfico 1. Granulometría del producto para acabado de paredes.

El gráfico N° 1 indica que el producto realizado posee una granulometría semejante al producto comercializado por “disensa” indicando de esta manera la finura necesaria del producto. Se ha llegado a la obtención de éstos datos adoptándolos como los que satisfacen las características necesarias o las similares al producto del mercado.

### 3.2.3. GRANULOMETRÍA PARA EL PRODUCTO ALBALUX

Tabla 28. Granulometría del producto Albalux

Determinación Granulométrica de ALBALUX (industrial-100g)						
$\mu\text{m}$	N° de Tamiz	Peso retenido/tamiz (g)	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Pasa/tamiz	% Acumulado Pasa
250	60	0,05	0,05	0,05	99,95	99,95
212	70	0,07	0,07	0,12	99,93	99,88
150	100	0,43	0,44	0,56	99,57	99,44
75	200	4,23	4,24	4,80	95,77	95,20
63	230	6,13	6,15	10,94	93,87	89,06
53	270	8,65	8,67	19,61	91,35	80,39
45	325	17,43	17,47	37,09	82,58	62,91
25,4	500	62,30	62,47	62,47	37,70	37,53
Residuo		0,44	0,44	100,00	99,56	0,00
Sumatoria		99,73				

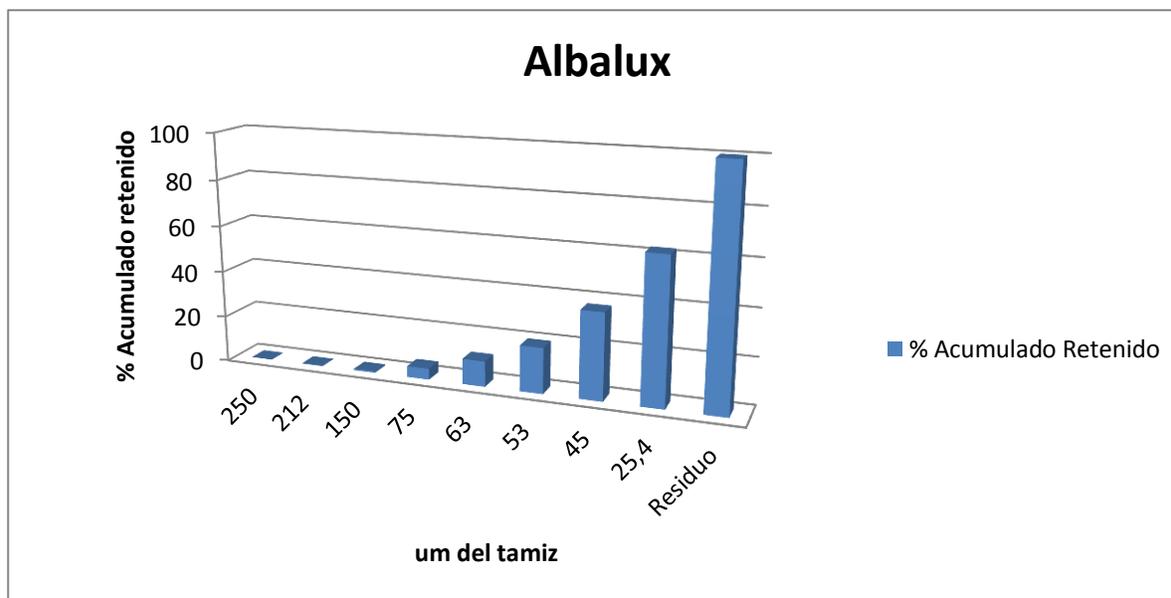
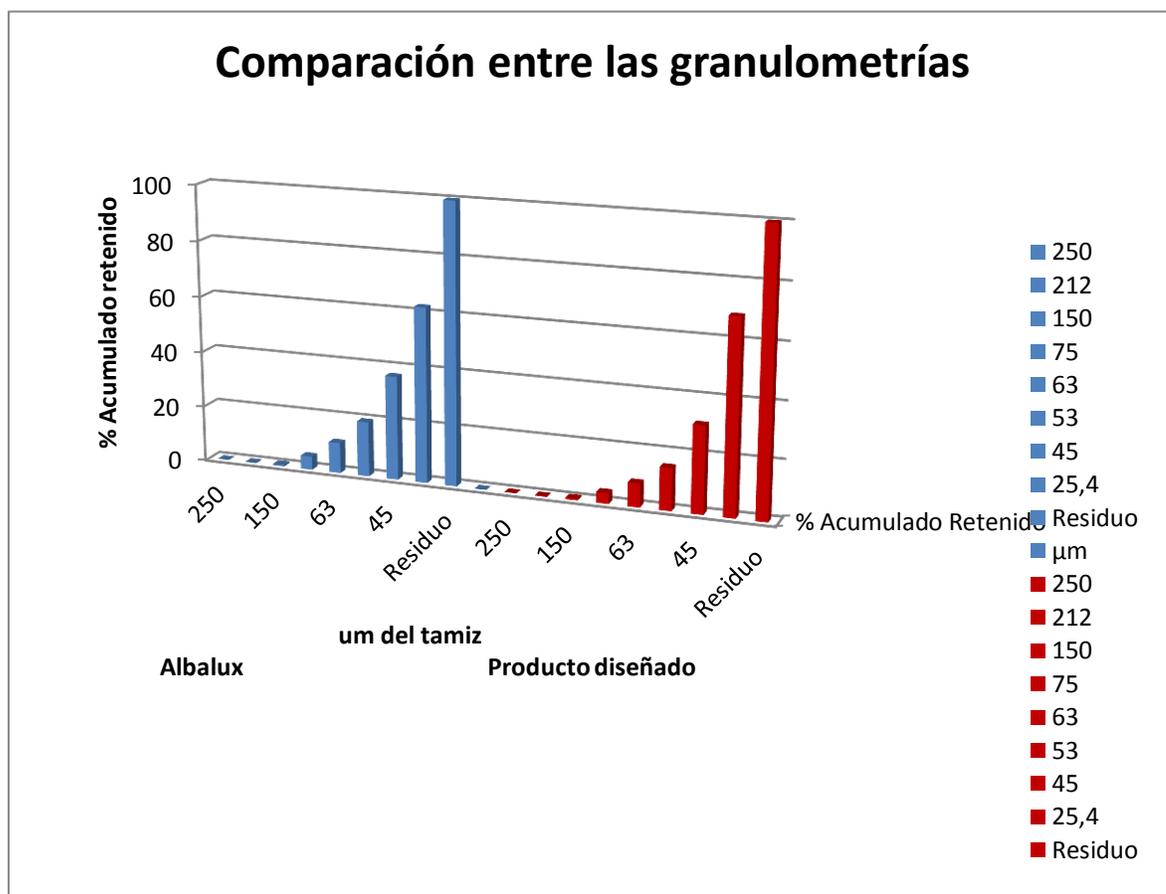


Gráfico 2. Granulometría Albalux



**Gráfico 3. Comparación entre granulometrías**

En el gráfico N° 3 se puede apreciar que el producto realizado posee una granulometría semejante al producto comercializado por “disensa” (Ver tabla N° 24 ) ya que se puede observar una mínima retención en los tamices de malla superior como son los de 250, 212, 150 y 75 µm, siendo éste un indicador de la finura necesaria del producto, comenzando a aumentar el % acumulado retenido del producto elaborado a partir de la malla de 63 µm, pero observándose un incremento significativo a partir de la malla de 45 µm y finalmente la de 25,4 µm.

Estos incrementos en el porcentaje acumulado retenido se deben a la composición en sí del producto y su elaboración. Además siendo las materias primas previamente molidas se debería esperar un resultado semejante como el del gráfico, ya que sí, no fueran molidas tales materias primas no se asemejaría al producto industrial debido a que la norma INEN 247 con respecto a la cal hidratada específica:

**Residuo, erupciones y descamaciones.** Los cuatro tipos de cal hidratada para uso en mampostería deben cumplir con uno de los siguientes requisitos:

- El residuo retenido sobre un tamiz N°. 30 (60  $\mu\text{m}$ ), no debe ser mayor que 0,5%
- Si el residuo retenido sobre un tamiz N°. 30 es mayor que 0,5%, la cal no debe mostrar erupciones o descamaciones cuando sea ensayada.

La Norma INEN 247 en su totalidad se encuentra en el ANEXO N°1 no existiendo cumplimiento de la misma.

### 3.2.4. RESULTADOS DE LA DENSIDAD DEL PRODUCTO DISEÑADO Y DEL PRODUCTO COMERCIAL.

Se realizó este análisis con una muestra de 50 g

Tabla 29. Densidad del producto diseñado y del producto comercial

Densidad producto para el producto para acabado de paredes (50g)							
Muestra	V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	Variación Volumen	Variación masa	densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Producto diseñado	0,60	19,4	347, 5	393,0 0	18,80	45,50	2,42
Producto comercial	0,60	18,40	341, 1	382,0 0	17,80	40,90	2,30

### 3.2.5. COMPARACIÓN DE DENSIDADES ENTRE EL ALBALUX (INDUSTRIAL) Y EL PRODUCTO PARA EL ACABADO DE PAREDES REALIZADO.

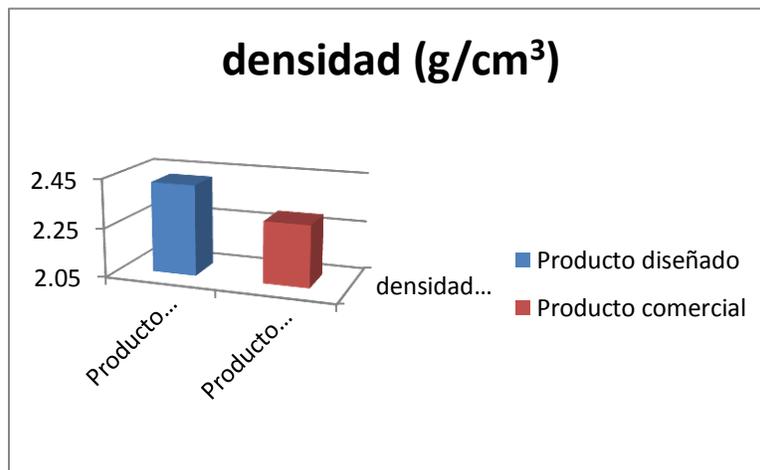


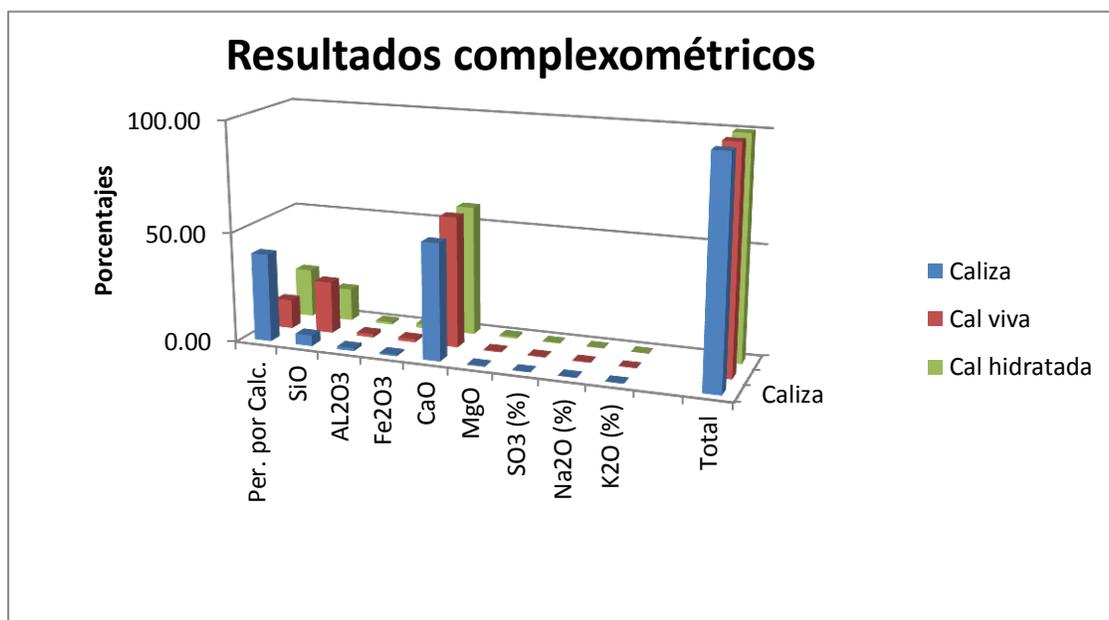
Gráfico 4. Comparación de densidades.

En el gráfico N° 4 se puede observar que las densidades tanto del Albalux y del producto elaborado difieren en cantidades muy pequeñas, arrojando éstos resultados fruto del ensayo llevado a cabo para la densidad denominado como “El frasco de Le Chatelier”. Esta mínima diferencia entre densidades es debido a la calidad de la cal hidratada producida ya que no entra en la especificación de la norma INEN 247, sin embargo a pesar de éste incumplimiento se ha llegado a una densidad prácticamente igual a la del producto que está a nivel industrial en estos momentos y que es el Albalux.

### 3.2.6. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPLEXOMÉTRICO

Tabla 30. Resultados de análisis complexométrico

Composición	Muestra				
	Caliza Ganquis	Caliza Shobol	Cal Viva	Cal Hidratada Molida	Cal Hidratada Molida y Tamizada
<b>Carbonatos totales</b>	83,75	97,75	99	99,25	98,50
<b>Perdida por Calcination</b>	38,65	39,90	13,20	20,25	22,11
<b>SiO<sub>2</sub></b>	10,32	4,85	23,70	15,32	14,81
<b>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,53	1,34	1,62	1,52	1,09
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,60	0,77	1,48	60,19	1,92
<b>CaO</b>	47,05	52,46	58,88	55,62	58,73
<b>MgO</b>	0,47	0,33	0,51	0,66	0,84
<b>SO<sub>3</sub> (%)</b>	0,12	0,11	0,33	0,30	0,29
<b>Na<sub>2</sub>O (%)</b>	0,24	0,22	0,25	0,23	0,21
<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01
<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	38,65	38,63	26,21	33,40	33,86
<b>Total</b>	100	100	100	100	100



**Gráfico 5. Resumen de datos complexométricos**

En el gráfico N° 5 se encuentran un resumen de los datos complexométricos llevados a cabo en el laboratorio en el cual se puede observar los porcentajes correspondientes a los distintos parámetros analizados, y en ciertos casos se puede evidenciar gracias a estos análisis el incumplimiento de la norma correspondiente por parte de las muestras ocupadas. Está el caso de la cal hidratada con respecto al contenido de MgO y CaO están por debajo de lo que establece la Norma INEN 247 (Ver Anexo N°1), así como también excede de acuerdo a la Norma el CO<sub>2</sub>.

Con respecto a la cal viva también existe una deficiencia con respecto a la Norma INEN 248 para el MgO y CaO y un exceso con respecto a la Norma para el CO<sub>2</sub>, es así que se tiene que mejorar la calidad de la materia prima para la elaboración de los productos.

### 3.2.7. RESULTADOS EN EL ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X DEL PRODUCTO DISEÑADO Y EL PRODUCTO COMERCIAL

Tabla 31. Resultados del producto diseñado y del comercial en el equipo de rayos X

Resultados del espectrómetro de rayos X		
Composición	Producto comercial	Producto diseñado
SiO <sub>2</sub>	3,30	16,59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,22	0,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16	1,12
CaO	60,00	50,72
MgO	0,67	0,59
SO <sub>3</sub> (%)	0,17	0,34
Na <sub>2</sub> O (%)	0,19	0,27
K <sub>2</sub> O (%)		0,02
CO <sub>2</sub> (%)	35,29	29,54
Sumatoria	100	100

### 3.2.8. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE EL PRODUCTO COMERCIAL Y EL PRODUCTO DISEÑADO

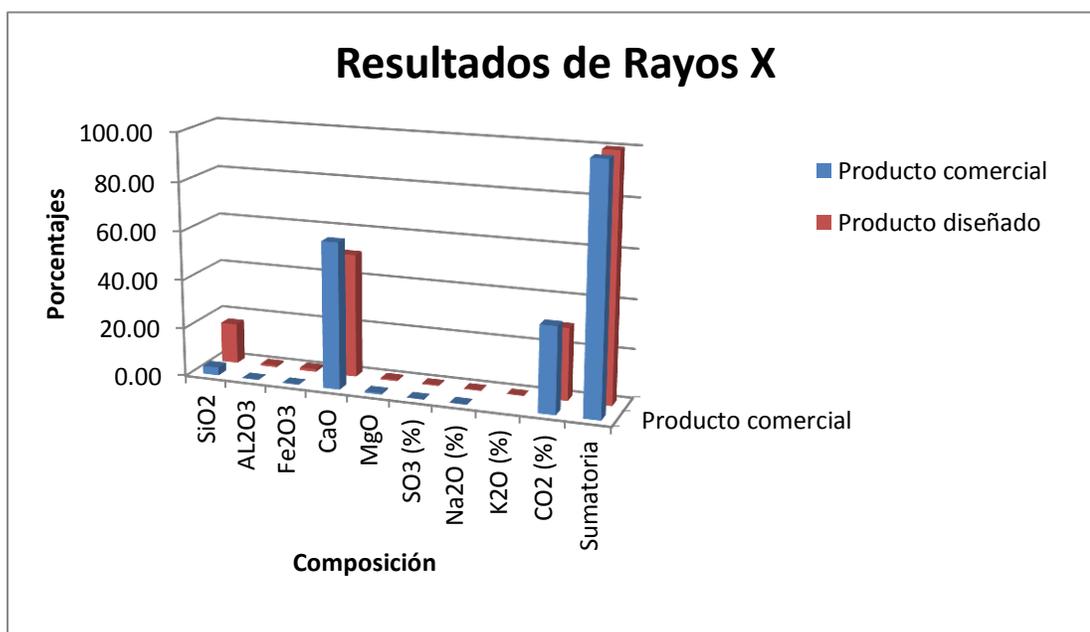


Gráfico 6. Comparación de resultados espectrométricos entre el Producto diseñado y el Albalux

En el gráfico N° 6 se puede observar las características finales analizadas en el espectrómetro de rayos X con respecto al Producto elaborado y al producto Albalux, notándose que sus resultados son muy similares

### 3.2.9. RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPLEXOMÉTRICO DEL PRODUCTO DISEÑADO

Tabla 32. Resultados del análisis complexométrico del producto diseñado

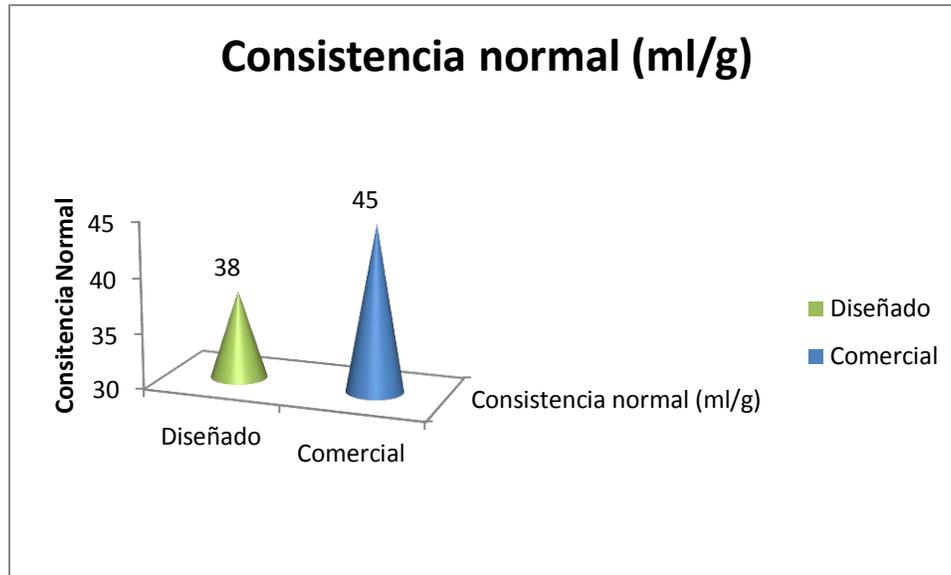
Análisis complexométrico del Producto diseñado	
% Pérdidas	15,3
% SiO <sub>2</sub>	26,68
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,6
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,93
% CaO	48,37

### 3.2.10. RESULTADO DE LA CONSISTENCIA NORMAL DEL PRODUCTO DISEÑADO Y DEL PRODUCTO COMERCIAL.

Tabla 33. Consistencia normal del producto comercial y el producto diseñado

Consistencia normal del Producto diseñado y del producto comercial. (300g)					
Producto	Penetración (mm)	Volumen (ml)	Fraguado inicial (hh/mm)	Fraguado final(hh/mm)	Consistencia normal (ml/g)
Diseñado	20	114	6:05	8:30	38
Comercial	16	135	8:00	11:30	45

### 3.2.11. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE CONSISTENCIA NORMAL



**Gráfico 7. Comparación de resultados de la consistencia normal**

En este gráfico se puede observar la comparación de volúmenes entre el Producto hecho y el producto comercial teniendo volúmenes de 114ml y 135ml respectivamente, implicando esto directamente en el resultado de la consistencia normal; siendo ésta para el Producto elaborado de 38ml/g y para el comercial de 45ml/g. Esta diferencia en la consistencia normal y por lo tanto en los tiempos de fraguado se debe específicamente a la materia prima artesanal con la que es hecho el producto, siendo parte de éstos motivos el tiempo de residencia en el horno por parte de la caliza y la hidratación artesanal que se da a la cal viva, produciendo de ésta manera la diferencia en los tiempos de fraguado con respecto al producto comercial que es la referencia a seguir.

### 3.3. PROPUESTA

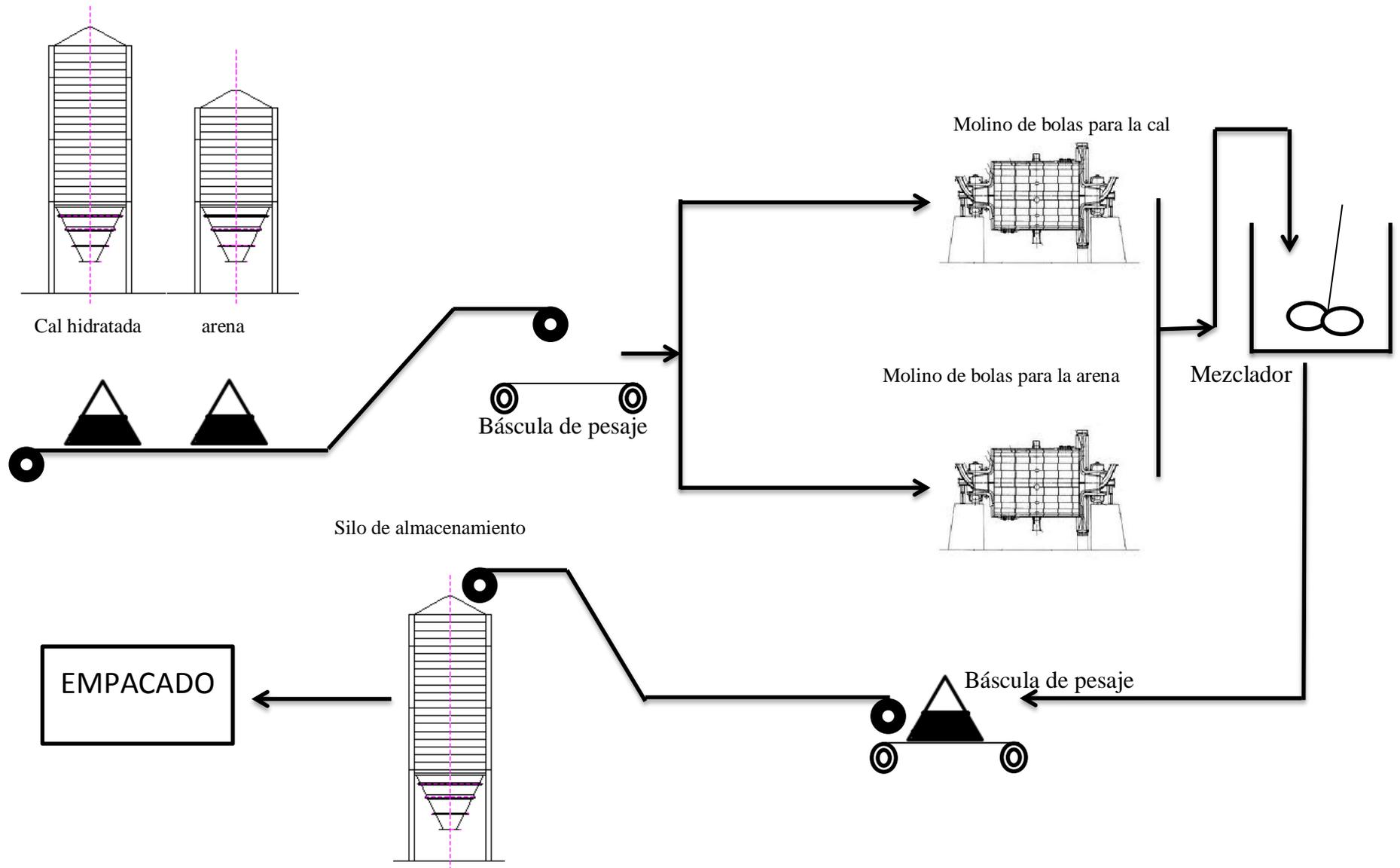
ESTADO ACTUAL	PROPUESTA	ALCANCE
PRODUCCIÓN DE CAL VIVA CON UN RENDIMIENTO DEL 56%	Implementación de un sistema de pesaje e implementación de una trituradora de mandíbulas de capacidad de 5 a 10 tn/h	Homogenización de la piedra de caliza y control de producción aumentando el rendimiento de producción en un 12%
PRODUCCIÓN DE CAL HIDRATADA 184,67Kg/h	Implementación de un sistema adecuado de hidratación y equipo de tamizado	Mejoramiento de la calidad físico – química y control de calidad <i>tabla. 18</i> , Aumento de la producción en un 18 %



PROPUESTA	ALCANCE
Implementación de un molino de bolas para la cal y la arena	Mejoramiento granulométrico de la materia prima para la elaboración del producto. <i>Tablas 18 y 23</i>
Implementación de una mezcladora automática	Elaboración del producto y control de calidad

Silos de cal hidratada y arena

PRODUCTO PARA EL ACABADO DE PAREDES



- **Descripción del proceso para la elaboración del Producto para acabado de paredes:**

- a.- La cal hidratada obtenida previamente es molida según las experiencias 30 minutos.
- b.- La arena por tener una granulometría superior es molida por 60 minutos en el molino de bolas.
- c. Ambas materias primas se introducen en una mezcladora mecánica por 15 minutos para obtener la granulometría deseada.
- d.- El producto saliente si es necesario, es decir si la granulometría lo amerita se lo introduce en el pulverizador.
- e.- Finalmente el producto obtenido se lo empaqueta

Cabe aclarar que el producto obtenido no es solamente éstos dos componentes si no que para la utilización como pintura o emporante tiene componentes adicionales que se detallan a continuación:

**Como pintura:**

- Se lo tiene que mezclar con 4 litros de cola y 50 litros agua por cada 25Kg de producto

**Como emporante:**

- Al producto agregar 1 volumen de cemento y agua hasta obtener una pasta homogénea.

### 3.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- En los resultados en el gráfico N° 3 se evidencia una similitud en cuanto a la granulometría teniendo pequeñas diferencias en la malla N° 500 ( $25,4\mu\text{m}$ ) debido esto a las condiciones de ensayo, calidad de la materia prima, incumplimiento de la Norma INEN 247 de la cal hidratada.
- En cuanto a los resultados de densidad, se observa en el gráfico N° 4 que se obtuvieron valores de  $2.42\text{ g/cm}^3$  para el producto diseñado y de  $2,30\text{ g/cm}^3$  para el producto comercial (Albalux), existiendo esta pequeña diferencia debido a la cal hidratada utilizada, influyendo de manera imperceptible en la calidad final del producto.
- Ahora con respecto a la consistencia normal y de acuerdo a los resultados del gráfico N° 7 se tienen para el producto diseñado  $38\text{ml/g}$  y para el producto comercial  $45\text{ ml/g}$  . Esta pequeña diferencia es debido a la finura del material el cual retarda el tiempo de fraguado (tabla N° 30) implicando en la aplicación final del producto del producto.
- Los resultados de espectrometría demuestran similitudes en ambos productos, como se observa en el gráfico N° 6, existiendo una diferencia apreciable en los porcentajes de  $\text{SiO}_2$  debido a la materia prima la cual es obtenida de manera artesanal.
- En cuanto a los resultados de rendimiento de producto se tiene: para el producto diseñado, por cada  $1,875\text{Kg}$  de producto se cubre una superficie de  $1\text{m}^2$  y para el producto comercial se tiene que por cada  $1,579\text{Kg}$  de producto se cubre una superficie de  $1\text{m}^2$ , el mayor rendimiento del producto comercial en términos de consumo de producto por metro cuadrado es debido a la cal hidratada que sirve como materia prima para la elaboración del producto motivo de la investigación, siendo esta obtenida de manera artesanal y también debido a la finura del material.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES.

1. En el producto diseñado, a pesar de que en su elaboración se utilizaron materias primas previamente obtenidas de manera artesanal, se obtuvo un rendimiento del producto diseñado de  $1,875\text{Kg/m}^2$ , en comparación con el rendimiento del producto comercial que es de  $1,579\text{Kg/m}^2$
2. En base al aumento de producción debido a la implementación de la propuesta se espera que el rendimiento de producción de la cal viva se incremente en un 12% y el rendimiento de la producción de la cal hidratada aumente en un 18%
3. La piedra caliza que ingresa al horno de cocción con el objetivo de transformarse en CaO es muy heterogénea teniendo medidas entre 20cm y 50cm siendo esto desfavorable al momento de obtener la cal viva, notándose esto en el alto porcentaje de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  de la cal viva que está en un 13.20%.
4. El producto obtenido para el acabado de paredes, tras los ensayos y análisis correspondientes es de similares características granulométricas al del producto industrial Albalux, como se puede observar en el gráfico N° 3, teniendo pequeñas variaciones, la mayor diferencia se presenta en la malla de  $25,4\ \mu\text{m}$  presentándose una diferencia del 6,17 %.
5. La cal producida por la calera del Pacífico en cuestión de porcentajes de óxidos de Ca y Mg están por debajo de acuerdo a los porcentajes requeridos por la Norma INEN 248 en un 35,61% afectando obviamente en la calidad de producto obtenido. También se presenta problemas en la granulometría de la cal hidratada producida excediendo al porcentaje de residuo de la norma en un tamiz de  $600\ \mu\text{m}$  en 0,54 %.

6. Se determinó que el porcentaje más conveniente para llevar a cabo la elaboración del Producto para el acabado de paredes es de un 80% de cal hidratada y un 20% de arena, llegando a ésta conclusión por las características finales que presentaba el mismo con respecto al producto Albalux siendo el motivo de ésta investigación adquirir un producto con similares características.

## 4.2. RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda instalar una trituradora para la piedra caliza antes de la entrada al horno debido a que la trituración se da de forma manual afectando esto a la calidad de la cal viva obtenida posteriormente ya que es recomendable que el tamaño de la piedra antes de entrar al horno esté entre uno 5cm a 10cm o en proporciones entre el tamaño mayor y menor de 1:3 para obtener una mejor calcinación, es decir procurar que el tamaño de las piedras sea lo más uniformes posibles.
2. Instalar un sistema de pesaje antes de la entrada al horno y a la salida del mismo para tener conocimientos más exactos acerca de la cantidad de materia primas que ingresan al horno y así mismo la cantidad que salen, ya que esto se daba de manera muy artesanal.
3. Debido a la importancia que tiene como materia prima la cal hidratada en la elaboración del Producto para el acabado de paredes se recomienda mejorar la hidratación de la cal con medidas exactas de volumen ya que para lograr una eficiente hidratación y un polvo fino se necesita un 50% más de agua que la cantidad teórica estequiométrica.
4. Se recomienda utilizar para la elaboración del Producto para acabado de paredes un tipo de arena normalizada y en base a la experiencia de los análisis esta es la de río que contiene una cantidad elevada de sílice y un color característico blanco el cual ayuda en el aspecto del producto final.
5. Se recomienda que el tiempo de residencia de la caliza en el horno sea de unos 40 minutos por carga ya que debido a las temperaturas que alcanza el horno (1250 °C a 1300 °C) tiende a desmejorar la calidad de la cal viva. Se debe procurar que el tiempo de residencia en el horno sea el menor posible y se recomienda que se

maneje con cuidado las variables de que a mayor temperatura menor tiempo de residencia en el horno.

6. De acuerdo a la cantidad de CO<sub>2</sub> eliminado hacia el ambiente por hora que expresa el balance de masa de la calera El Pacífico que es de 109,80Kg/h es recomendable adoptar algunas medidas para la cantidad de CO<sub>2</sub> disminuya o se minimice el impacto al ambiente como son las de el cambio de combustible que actualmente se usa por un menos contaminante como el búnker, o una combinación de este con el aceite que actualmente se utiliza y la mejoras en el funcionamiento del horno al momento de la calcinación de la piedra caliza.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **COLOMA ÁLVAREZ., G.**, La Cal: ¡Es un reactivo químico!., Santiago-Chile., 2008., Pp 38-45
2. **HERNBOSTEL., C.**, Materiales para construcción, tipos, usos y aplicaciones., 2a.ed., México D.F.- México., Ed. Limusa., 2002., Pp 180-195
3. **MANCINI DI MECO., P.**, Manual de Reconstrucción y acabados de Albañilería., México D.F.- México., Ed. Trillas., 2003., Pp 45-65-84
4. **McCABE WARREN., L.**, y otros., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., Ed. Mc Graw-Hill., México D.F.- México., 2002., Pp 125
5. **ORUZ ASSO., F.**, Materiales de construcción., 7a.ed., Madrid-España., Ed. Dossat., 1985., Pp 275-280
6. **ROCA CUSIDÓ., A.**, Control de Procesos., Mexico D.F-México., Alfaomega : Ed. UPC., 2002., Pp 238
7. **RumFORD FRANK.**, Materiales de ingeniería química., Buenos Aires-Argentina., Ed.Eudeba., 1964., Pp 125-145-230
8. **TAYLOR H.F.W.**, Enciclopedia de la Química Industrial: La Química de los Cementos., F. Romero Rossi., Bilbao-España., Ed. URMO., 1967., Pp 115

### INTERNET

- PIEDRA CALIZA

[es.wikipedia.org/wiki/Caliza](http://es.wikipedia.org/wiki/Caliza)

2011-10-6

- COMPOSICIÓN DE LA CAL

[www.textoscientificos.com/quimica/cales](http://www.textoscientificos.com/quimica/cales)

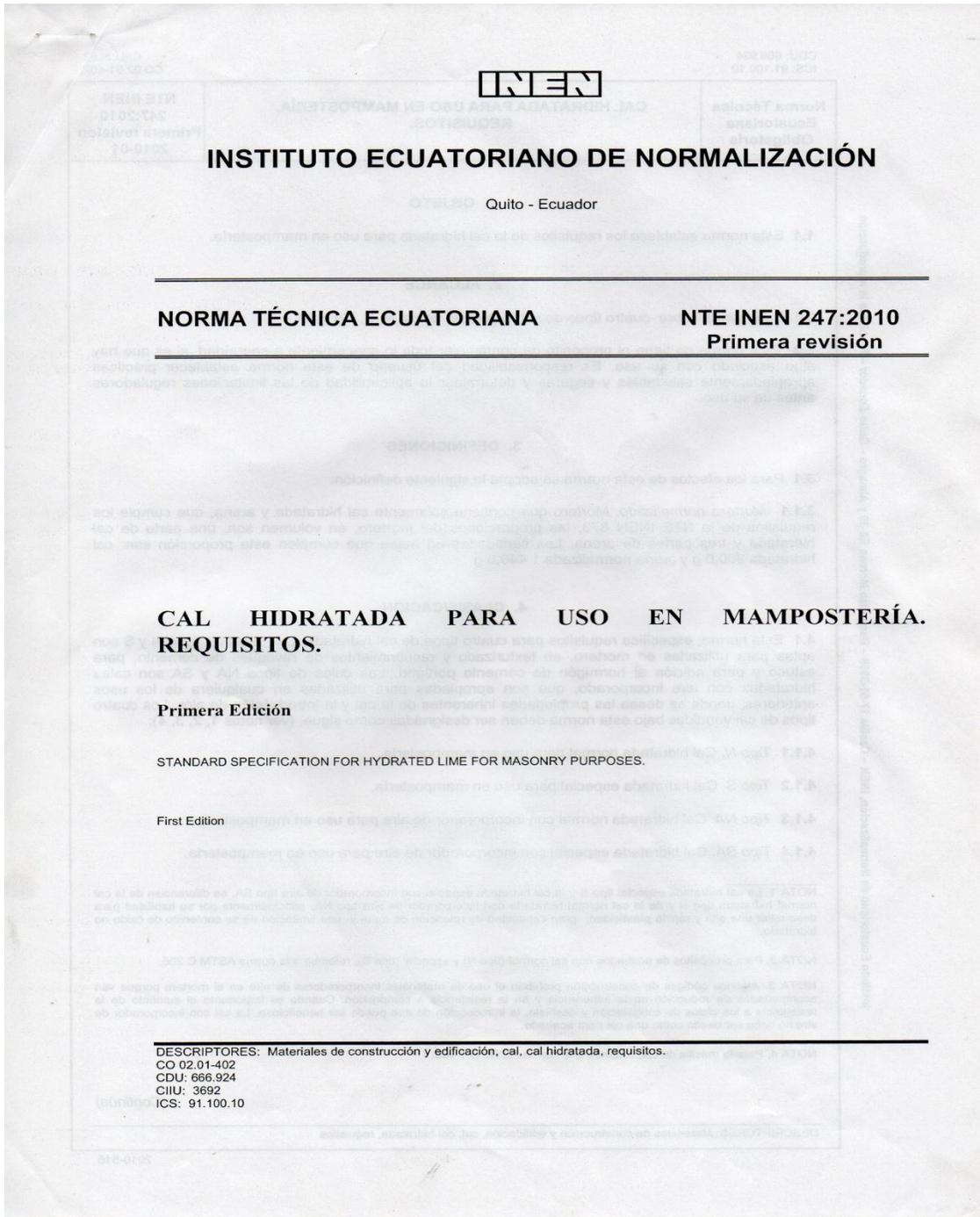
2011-10-11

- TIPOS DE CAL  
[www.arqhys.com/construccion/cal-tipos.html](http://www.arqhys.com/construccion/cal-tipos.html)  
2011-11-01
- CAL VIVA  
[ferticamycrus.com/index.php?option=com...view...](http://ferticamycrus.com/index.php?option=com...view...)  
[es.wikipedia.org/wiki/Óxido de calcio](http://es.wikipedia.org/wiki/Óxido_de_calcio)  
2011-11-4
- CAL HIDRATADA  
[www.quiminet.com/.../la-cal-hidratada-y-su-uso-en-diferent..](http://www.quiminet.com/.../la-cal-hidratada-y-su-uso-en-diferent..)  
2011-12-13
- USOS DE LA CAL  
[www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=258](http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=258)  
2011-12-14
- PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA CAL HIDRATADA  
[www.quiminet.com/.../la-cal-tipos-y-proceso-de-obtencion](http://www.quiminet.com/.../la-cal-tipos-y-proceso-de-obtencion)  
2012-01-01

## CAPÍTULO VI

### 6. ANEXOS

#### 6.1. ANEXO N°1. NTE INEN 247



CDU: 666.924  
ICS: 91.100.10

CIIU:3692  
CO 02.01-402

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	CAL HIDRATADA PARA USO EN MAMPOSTERÍA. REQUISITOS.	NTE INEN 247:2010 Primera revisión 2010-01
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos de la cal hidratada para uso en mampostería.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Esta norma cubre cuatro tipos de cal hidratada, tipos: N, S, NA y SA.</p> <p>2.2 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma se adopta la siguiente definición:</p> <p>3.1.1 <i>Mortero normalizado.</i> Mortero que contiene solamente cal hidratada y arena, que cumple los requisitos de la NTE INEN 873, las proporciones del mortero, en volumen son, una parte de cal hidratada y tres partes de arena. Las cantidades en masa que cumplen esta proporción son: cal hidratada 300,0 g y arena normalizada 1 440,0 g.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. CLASIFICACIÓN</b></p> <p>4.1 Esta norma, especifica requisitos para cuatro tipos de cal hidratada: Las cales de tipos N y S son aptas para utilizarlas en mortero, en texturizado y recubrimientos de revoques de cemento, para estuco y para adición al hormigón de cemento portland. Las cales de tipos NA y SA son cales hidratadas con aire incorporado, que son apropiadas para utilizarlas en cualquiera de los usos anteriores, donde se desea las propiedades inherentes de la cal y la introducción de aire. Los cuatro tipos de cal vendidas bajo esta norma deben ser designadas como sigue, (ver notas 1, 2, 3, 4):</p> <p>4.1.1 <i>Tipo N.</i> Cal hidratada normal para uso en mampostería.</p> <p>4.1.2 <i>Tipo S.</i> Cal hidratada especial para uso en mampostería.</p> <p>4.1.3 <i>Tipo NA.</i> Cal hidratada normal con incorporador de aire para uso en mampostería</p> <p>4.1.4 <i>Tipo SA.</i> Cal hidratada especial con incorporador de aire para uso en mampostería.</p> <p>NOTA 1. La cal hidratada especial tipo S y la cal hidratada especial con incorporador de aire tipo SA, se diferencian de la cal normal hidratada tipo N y de la cal normal hidratada con incorporador de aire tipo NA, principalmente por su habilidad para desarrollar una alta y rápida plasticidad, gran capacidad de retención de agua y una limitación de su contenido de óxido no hidratado.</p> <p>NOTA 2. Para propósitos de acabados con cal normal (tipo N) y especial (tipo S), referirse a la norma ASTM C 206.</p> <p>NOTA 3. Algunos códigos de construcción prohíben el uso de materiales incorporadores de aire en el mortero porque van acompañados de reducción en la adherencia y en la resistencia a compresión. Cuando es importante el aumento de la resistencia a los ciclos de congelación y deshielo, la introducción de aire puede ser beneficiosa. La cal con incorporador de aire no debe ser usada como una cal para acabado.</p> <p>NOTA 4. Para la masilla de cal, referirse a la norma ASTM C 1 489.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <p>DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, cal, cal hidratada, requisitos</p>		

## 5. REQUISITOS

### 5.1 Requisitos específicos

**5.1.1 Composición química.** La cal hidratada para uso en mampostería debe cumplir con los siguientes requisitos de composición química:

**TABLA 1. Composición química de la cal hidratada para uso en mampostería**

	N	NA	S	SA
Óxidos de calcio y magnesio (en base no volátil), % min.	95	95	95	95
Dióxido de carbono (en base como se recibe), % máx.				
Si se toma la muestra en el lugar de fabricación	5	5	5	5
Si se toma la muestra en cualquier otro lugar	7	7	7	7
Óxidos no hidratados (en base como se recibe), % máx.	--	--	8	8

**5.1.2 Adiciones.** Los tipos NA y SA de cal hidratada, cubiertas por esta norma, deben contener aditivos incorporadores de aire, tales aditivos deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 226.

**5.1.3 Residuo, erupciones y descamaciones.** Los cuatro tipos de cal hidratada para uso en mampostería, deben cumplir con uno de los siguientes requisitos:

**5.1.3.1** El residuo retenido sobre un tamiz No. 30 (600  $\mu$ m), no debe ser mayor que 0,5%.

**5.1.3.2** Si el residuo retenido sobre un tamiz No. 30 (600  $\mu$ m) es mayor que 0,5%, la cal no debe mostrar erupciones o descamaciones cuando sea ensayada de acuerdo con el método descrito en el numeral 7.1.2.

**5.1.4 Plasticidad.** La masilla fabricada con cal tipo S, hidratada especial, o tipo SA, hidratada especial con incorporador de aire, debe tener una plasticidad de al menos 200 unidades Elmey, cuando se ensaya dentro de 30 minutos después del mezclado con agua, mediante la norma ASTM C 110.

#### 5.1.5 Retención de agua

**5.1.5.1** Cuando se ensaye un mortero normalizado fabricado con cal hidratada seca o con masilla fabricada de cal hidratada, la cual ha sido humedecida por un periodo de 16 h a 24 h y luego de la succión por 60 segundos, el mortero de cal hidratada fabricado con tipo N (cal hidratada normal) o tipo NA (cal hidratada normal con incorporador de aire), debe tener un valor de retención de agua no menor del 75%.

**5.1.5.2** Cuando se ensaye un mortero normalizado fabricado con cal hidratada seca en concordancia con la norma ASTM C 110, el mortero fabricado con cal hidratada tipo S (hidratada especial) o tipo SA (hidratada especial con incorporador de aire), ensayada de acuerdo con la norma ASTM C 110, debe tener un valor de retención de agua no menor del 85%.

**5.1.6 Introducción de aire.** La cal hidratada de los tipos N o S, cubierta en esta norma, no debe contener aditivos incorporadores de aire. El contenido de aire de un mortero normalizado, determinado de acuerdo con la norma ASTM C 110, fabricado con cal tipos N o S, no debe exceder de 7%. Cuando se ensayan de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM C 110, el contenido de aire del mortero normalizado fabricado con los tipos NA o SA debe tener un valor mínimo de 7% y un máximo de 12%.

## 6. INSPECCIÓN

**6.1 Muestreo e inspección.** El muestreo, inspección, rechazo y reensayos deben ser realizados de acuerdo con la NTE INEN 251.

(Continúa)

**7. MÉTODOS DE ENSAYO**

**7.1** Determinar las propiedades enumeradas en esta norma de acuerdo con las siguientes normas:

**7.1.1** Análisis químico. Norma ASTM C 25.

**7.1.2** Análisis físico. Norma ASTM C 110.

**8. ENVASADO Y ETIQUETADO**

**8.1** El empaqueo y marcado deben ser realizados de acuerdo con la NTE INEN 251.

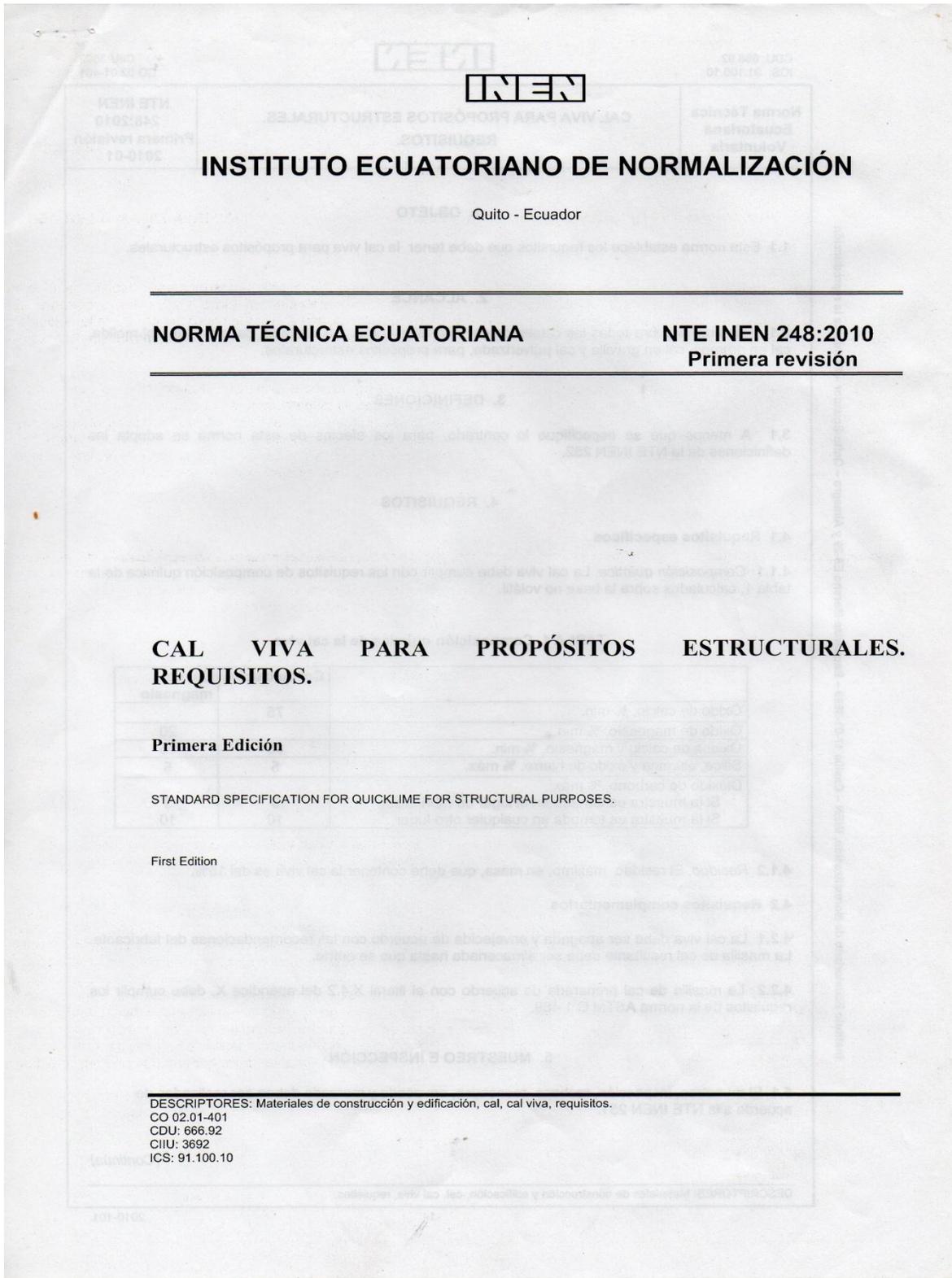
**8.1.1** *Marcado especial de sacos.* Cuando la cal hidratada con incorporador de aire, tipos NA o SA, sea enviada en sacos, se debe indicar claramente el nombre y la marca del fabricante, el tipo de cal bajo esta norma y las palabras "CON INCORPORADOR DE AIRE". En caso de embarques a granel, se debe indicar en los documentos de envío.

**9. DECLARACIÓN DEL FABRICANTE**

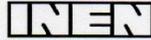
**9.1** A pedido del comprador, el fabricante debe declarar por escrito la naturaleza, cantidad e identidad del agente incorporador de aire utilizado y de cualquier adición de proceso que pueda haber sido utilizada y además, si lo requiere, debe suministrar los resultados de ensayos que muestren el cumplimiento de tales adiciones incorporadoras de aire con las disposiciones de la norma ASTM C 226.

(Continúa)

6.2. ANEXO N°2 NTE INEN 248



CDU: 666.92  
ICS: 91.100.10



CIU:3692  
CO 02.01-401

**Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Voluntaria**

**CAL VIVA PARA PROPÓSITOS ESTRUCTURALES.  
REQUISITOS.**

**NTE INEN  
248:2010  
Primera revisión  
2010-01**

**1. OBJETO**

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe tener la cal viva para propósitos estructurales.

**2. ALCANCE**

2.1 Esta norma cubre todas las clases de cal viva tales como: cal triturada, cal granular, cal molida, cal en grumos, cal en gravilla y cal pulverizada, para propósitos estructurales.

**3. DEFINICIONES**

3.1 A menos que se especifique lo contrario, para los efectos de esta norma se adopta las definiciones de la NTE INEN 252.

**4. REQUISITOS**

**4.1 Requisitos específicos**

4.1.1 *Composición química.* La cal viva debe cumplir con los requisitos de composición química de la tabla 1, calculados sobre la base no volátil.

**TABLA 1. Composición química de la cal viva**

	Cal de calcio	Cal de magnesio
Óxido de calcio, % min.	75	
Óxido de magnesio, % min.		20
Óxidos de calcio y magnesio, % min.	95	95
Sílice, alúmina y óxido de hierro, % máx.	5	5
Dióxido de carbono, % máx:		
Si la muestra es tomada en el lugar de fabricación	3	3
Si la muestra es tomada en cualquier otro lugar	10	10

4.1.2 *Residuo.* El residuo máximo, en masa, que debe contener la cal viva es del 15%.

**4.2 Requisitos complementarios**

4.2.1 La cal viva debe ser apagada y envejecida de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La masilla de cal resultante debe ser almacenada hasta que se enfríe.

4.2.2 La masilla de cal preparada de acuerdo con el literal X.4.2 del apéndice X, debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C 1 489.

**5. MUESTREO E INSPECCIÓN**

5.1 El muestreo, inspección, rechazo, reensayos, envasado y marcado deben ser realizados de acuerdo a la NTE INEN 251.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, cal, cal viva, requisitos.

**6. MÉTODOS DE ENSAYO**

**6.1** El cumplimiento con los requisitos químicos, debe ser determinado de acuerdo con la norma ASTM C 25.

**6.2** El cumplimiento con los requisitos de plasticidad y residuo, debe ser determinado de acuerdo con la norma ASTM C 110.

(Continúa)

**APÉNDICE X****(Información opcional)****APAGADO Y PREPARACIÓN DE LA MASILLA DE CAL****X.1 Introducción**

**X.1.1** La cal viva nunca puede ser usada como tal en aplicaciones estructurales, siempre debe ser previamente apagada. Puesto que el método de apagado es un factor importante en la determinación de la calidad del producto terminado, se ha establecido el siguiente procedimiento para la preparación de masilla de cal, no como parte de la norma sino como información para la mejor protección del comprador.

**X.1.2** Las cales de diferentes clases, varían considerablemente en la forma en que se comportan con el agua. Una pequeña supervisión en la operación de apagado, puede pagarse ampliamente por sí misma, al garantizar la producción de la mayor cantidad y la mejor calidad posible de masilla. Para encontrar cómo apagar un nuevo lote de cal, es más seguro probar un poco de la cal y ver cómo funciona. Puesto que diferentes lotes de la misma marca pueden variar un poco y dado que las condiciones ambientales en el momento tienen una influencia decisiva, es aconsejable probar una muestra de cada lote utilizado, ya sea de una marca conocida o no.

**X.2 Clasificación de las cales**

**X.2.1** En un recipiente, poner dos o tres trozos de cal del tamaño de un puño, en el caso de cal granular, una cantidad equivalente. Añadir agua en cantidad suficiente para apenas cubrir la cal y apreciar cuánto tiempo toma para empezar a apagarse. El apagado ha comenzado cuando algunos pedazos se separan de los trozos o cuando estos se desmoronan. Se debe utilizar agua con la misma temperatura tanto en la prueba, como en el campo.

**X.2.2** Si el apagado comienza en menos de 5 minutos, la cal es de apagado rápido; de 5 a 30 minutos, es de apagado medio y más de 30 minutos, es de apagado lento.

**X.3 Procedimiento para el apagado**

**X.3.1** Apagar la cal viva de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Cuando tales instrucciones no sean entregadas, proceder de la siguiente forma:

**X.3.2** Para cal de apagado rápido, siempre agregar la cal al agua, no el agua a la cal. Inicialmente tener suficiente agua para cubrir toda la cal completamente. Tener un suministro abundante de agua disponible para uso inmediato y si es posible una manguera que arroje un buen flujo. Mirar constantemente la cal. Al más mínimo indicio de escape de vapor, remover a fondo y rápidamente y añadir suficiente agua para detener el vapor. No tener recelo de usar demasiada agua con este tipo de cal.

**X.3.3** Para cal de apagado medio, añadir el agua a la cal. Añadir suficiente agua para que la cal esté sumergida aproximadamente la mitad. Remover ocasionalmente si el vapor comienza a escapar. Añadir un poco de agua de vez en cuando si es necesario para evitar que la masilla se torne seca y desmenuzable. Tener cuidado de no añadir más agua de la necesaria y no demasiada a la vez.

**X.3.4** Para cal de apagado lento, agregar suficiente agua para que se humedezca completamente. Dejar reposar hasta que la reacción haya comenzado. Cuidadosamente añadir agua poco a poco, teniendo cuidado de que la masa no se enfríe por el agua fresca. No remover hasta que el apagado esté prácticamente completo. Si el ambiente está muy frío, es preferible utilizar agua caliente, pero si esta no está disponible, el recipiente puede ser cubierto de alguna manera para mantener el calor.

*(Continúa)*

**X.4 Preparación de la masilla para su utilización**

**X.4.1** Después del apagado, preparar la masilla como sigue:

**X.4.2** *Recubrimiento blanco.* Después del apagado y envejecimiento final de la cal viva de acuerdo con las instrucciones del fabricante, almacenar la masilla hasta que se enfríe. Si no se han entregado las instrucciones del fabricante, preparar la masilla para el uso como sigue: después de que ha terminado la acción, pasar la masilla a través de un tamiz No. 10 (2,00 mm), que cumpla con los requisitos de la NTE INEN 154 y almacenarla por un mínimo de 2 semanas.

**X.4.3** *Recubrimiento base.* Después de que ha terminado la acción, pasar la masilla a través de un tamiz No. 8 (2,36 mm), que cumpla con los requisitos de la NTE INEN 154. Añadir arena en partes iguales en masa y toda la fibra requerida y almacenar por un mínimo de 2 semanas.

**X.4.4** *Mortero de albañilería.* Después de que ha terminado la acción, añadir una parte o toda la arena requerida y almacenar por un mínimo de 24 horas.

(Continúa)

### 6.3. ANEXO N°3 NTE INEN 2536



## INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 536:2010**

---

### **ÁRIDOS PARA USO EN MORTEROS PARA MAMPOSTERÍA. REQUISITOS.**

**Primera Edición**

STANDARD SPECIFICATION FOR AGGREGATE FOR MASONRY MORTAR.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales, áridos para mortero, requisitos.  
CO 02.03-404  
CDU: 691.22 :691.53  
CIIU: 2901  
ICS: 91.100.15

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	ÁRIDOS PARA USO EN MORTEROS PARA MAMPOSTERÍA. REQUISITOS	NTE INEN 2 536:2010 2010-06
--	---	-----------------------------------

### 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los áridos que son empleados en la fabricación de morteros para mampostería.

### 2. ALCANCE

2.1 El árido para ser utilizado en mortero para mampostería debe consistir de arena natural o elaborada. La arena elaborada es el producto obtenido de la trituración de la roca, grava o escorias de altos hornos de hierro enfriada al aire, debe ser prolijamente elaborada para garantizar la graduación adecuada, (ver nota 1).

### 3. REQUISITOS

#### 3.1 Requisitos específicos

##### 3.1.1 Graduación

3.1.1.1 El árido para uso en mortero para mampostería, dependiendo de si se utiliza arena natural o arena elaborada, debe estar graduado dentro de los límites que se encuentran en la tabla 1.

TABLA 1. Límites granulométricos del árido para uso en mortero para mampostería

Tamiz	Porcentaje pasante	
	Arena natural	Arena elaborada
4,75 mm (No. 4)	100	100
2,36 mm (No. 8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (No. 16)	70 a 100	70 a 100
600 µm (No. 30)	40 a 75	40 a 75
300 µm (No. 50)	10 a 35	20 a 40
150 µm (No. 100)	2 a 15	10 a 25
75 µm (No. 200)	0 a 5	0 a 10

3.1.1.2 El árido no debe tener una masa retenida mayor a 50% entre dos tamices consecutivos de los citados en la tabla 1, ni más de 25% entre el tamiz de 300 µm (No. 50) y de 150 µm (No. 100).

3.1.1.3 Si el módulo de finura varía en más de 0,20 del valor asumido en la selección de las proporciones para el mortero, el árido debe ser rechazado, a menos que se realicen ajustes adecuados en las proporciones para compensar el cambio en la graduación, (ver nota 2)

3.1.1.4 Cuando un árido no cumple con los límites de graduación especificados en los numerales 3.1.1.1 y 3.1.1.2, se permite su utilización siempre que el mortero sea preparado cumpliendo con la relación de áridos, retención de agua, contenido de aire y requisitos de resistencia a la compresión de las especificaciones por propiedades de la NTE INEN 2 518.

NOTA 1. Se debe tener cuidado para asegurar una forma adecuada de las partículas, ya que partículas planas y alargadas en cantidades excesivas, históricamente han causado problemas con la trabajabilidad.

NOTA 2. En construcciones donde emplean juntas de mayor espesor que 12,5 mm, puede ser conveniente un árido grueso; para estas obras es apropiado el empleo de un árido fino que se ajuste a la especificación dada en la norma ASTM C 404.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Materiales de construcción v edificación, materiales v productos minerales, áridos para mortero, requisitos.

### 3.1.2 Composición

**3.1.2.1 Sustancias perjudiciales.** La cantidad de sustancias perjudiciales en el árido para morteros para mampostería, en cada determinación realizada en muestras independientes que cumplan con los requisitos de graduación del numeral 3.1.1, no debe superar lo siguiente:

Material	Porcentaje máximo permisible en masa
Partículas desmenuzables	1,0
Partículas livianas, flotantes en un líquido que tenga una gravedad específica de 2,0	0,5 <sup>A</sup>
<sup>A</sup> Este requisito no es aplicable para el árido de escoria de altos hornos	

### 3.1.2.2 Impurezas orgánicas:

- El árido debe estar libre de cantidades inapropiadas de impurezas orgánicas. A excepción de lo dispuesto en esta norma, los áridos sometidos al ensayo de impurezas orgánicas de la NTE INEN 855, que produzcan un color más oscuro que el normalizado, deben ser rechazados.
- El árido que no cumpla con la NTE INEN 855 puede ser utilizado siempre que, el color en el ensayo de impurezas orgánicas se deba principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas similares presentes en forma discreta.
- El árido que no cumpla con la NTE INEN 855, puede ser utilizado siempre que, en el ensayo de verificación del efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia del mortero de conformidad con la NTE INEN 866, la resistencia relativa calculada a siete días, no sea menor que el 95%.

### 3.1.3 Degradación a la acción de los sulfatos

**3.1.3.1** A excepción de lo dispuesto en esta norma, el árido sometido a cinco ciclos en el ensayo de degradación a la acción de los sulfatos, en una muestra que cumpla con la graduación dentro de los límites establecidos en el numeral 3.1.1, no debe tener una pérdida mayor al 10% cuando se utiliza sulfato de sodio o al 15% cuando se utiliza sulfato de magnesio.

**3.1.3.2** El árido que no cumpla con los requisitos del numeral 3.1.3.1, puede ser aceptado siempre que se demuestre la existencia de un mortero con propiedades equivalentes al que se desea fabricar, elaborado con áridos similares de la misma fuente, que no presente desintegración apreciable luego de exponerle a las condiciones de trabajo por un período de más de cinco años.

## 4. INSPECCIÓN

**4.1 Muestreo.** El muestreo del árido debe ser realizado de acuerdo al procedimiento descrito en la NTE INEN 695.

## 5. MÉTODOS DE ENSAYO

**5.1** A menos que se de otra disposición en esta norma, los ensayos al árido se deben realizar de acuerdo con las siguientes normas:

- 5.1.1 Análisis por tamizado y módulo de finura. NTE INEN 696
- 5.1.2 Cantidad de material más fino que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200). NTE INEN 697
- 5.1.3 Impurezas orgánicas. NTE INEN 855
- 5.1.4 Efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia. NTE INEN 866

(Continúa)

5.1.5 Partículas desmenuzables. NTE INEN 698

5.1.6 Constituyentes livianos. NTE INEN 699

5.1.7 Degradación a la acción de los sulfatos. NTE INEN 863

5.1.8 Densidad. Determinar la densidad del árido fino de acuerdo con el procedimiento indicado en la NTE INEN 856. Para el cálculo del contenido de aire en morteros, utilizar el procedimiento descrito en la NTE INEN 2 518.

(Continúa)

## 6.4. ANEXO N° 4. CERTIFICADO DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE CEMENTO CHIMBORAZO



Oficina Quito  
Pinta 255 y Rábida  
Telfs.: (593-2) 223 1500 / 250 2424 / 252 1194  
Fax: (593-2) 250 4599  
Casilla: 17-00-13114

Fábrica  
Panamericana Sur Km. 14 vía a la costa.  
Telfs.: (593-3) 262 0009 / 10 / 11 / 12 / 13 / 14  
Fax: (593-3) 262 0583  
Casilla: 06-01-720-A  
Riobamba - Ecuador

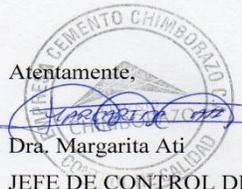
Riobamba 13 de febrero de 2012

### CERTIFICADO

Por medio del presente me permito certificar que el Sr. Herrera Robalino David Marcelo, con Cedula de Identidad N° 060388909-8, Egresado de la Escuela de Ingeniería Química de la facultad de Ciencias de la Escuela Politécnica de Chimborazo realizó los análisis Físico-Químicos en laboratorio de Control de Calidad de Cemento Chimborazo de los siguientes materiales: piedra caliza, cal viva, cal hidratada, productos industriales: empaste y albalux.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, el interesado puede hacer uso del presente certificado como crea conveniente.

Atentamente,



Dra. Margarita Ati  
JEFE DE CONTROL DE CALIDAD  
CEMENTO CHIMBORAZO CA.

## 6.5. ANEXO N° 5. CERTIFICADO DE LA AGENCIA DE DESARROLLO DE RIOBAMBA Y CHIMBORAZO CRECER



LA AGENCIA DE  
DESARROLLO DE  
RIOBAMBA Y  
CHIMBORAZO



### CERTIFICO

Que el Señor David Marcelo Herrera Robalino, portador de la cédula de identidad 060388909-8, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Facultad de Ciencias, Escuela de ingeniería Química, culminó la investigación de Tesis de grado con el tema **“DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN PROCESO PARA ACABADO DE PAREDES, A PARTIR DEL HIDROXIDO DE CALCIO RESULTANTE DE LA COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA CALIZA”** para la Asociación los Nevados de la provincia de Chimborazo, que se dedica a la producción y comercialización de cal.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al Sr. David Marcelo Herrera, haga uso del presente certificado como creyere conveniente.

Riobamba, 28 de febrero 2012

Atentamente,

Ing. Fredy Loza Gallegos

GERENTE CRECER

**CreceR**  
Corporación Regional Económica Empresarial Riobamba

Dirección: Veloz y Darquea esq.  
Cámara de la Pequeña Industria / Planta Baja  
Telefax. (03)2953-711  
Cel. 098361249  
[www.creceriobamba.com](http://www.creceriobamba.com)  
Email: [creceriobamba@gmail.com](mailto:creceriobamba@gmail.com)

## 6.6. ANEXO N°6. TABLA DE TAMICES

TABLA DE TAMICES								
SERIE GRUESOS	APERTURA DEL TAMIZ		DIAMETRO DE 3" (76 mm)		DIAMETRO DE 8" (203 mm)		DIAMETRO DE 12" (305 mm)	
	ESTANDAR	ALTERNATIVO	NumERO DE MODELO DE BRONCE	NumERO DE MODELO DE ACERO INOXIDABLE	NumERO DE MODELO DE BRONCE	NumERO DE MODELO DE ACERO INOXIDABLE	NumERO DE MODELO DE BRONCE	NumERO DE MODELO DE ACERO INOXIDABLE
TAMAÑO O NumERO DEL TAMIZ	(mm)	(In)						
4"	100 mm	4.00	-	-	CBC-8400	-	CBC-12400	-
3 1/2"	90mm	3,500	-	-	CBC-8350	-	CBC-12350	-
3"	75 mm	3,000	-	-	CBC-8300	-	CBC-12300	-
2 1/2"	63 mm	2,500	-	-	CBC-8250	CBC-8250	CBC-12250	CBC-12250
2"	50 mm	2,000	-	-	CBC-8200	CBC-8200	CBC-12200	CBC-12200
1 3/4"	45 mm	1,750	-	-	CBC-8175	CBC-8175	CBC-12175	CBC-12175
1 1/2"	38.1 mm	1,500	-	-	CBC-8150	CBC-8150	CBC-12150	CBC-12150
1 1/4"	31.5 mm	1,250	-	-	CBC-8125	CBC-8125	CBC-12125	CBC-12125
1"	25.0 mm	1,000	-	-	CBC-8100	CBC-8100	CBC-12100	CBC-12100
7/8"	22.4 mm	0,875	-	-	CBC-8087	CBC-8087	CBC-12087	CBC-12087
3/4"	19.0 mm	0,750	-	-	CBC-8075	CBC-8075	CBC-12075	CBC-12075
5/8"	16.0 mm	0,625	-	-	CBC-8062	CBC-8062	CBC-12062	CBC-12062
1/2"	12.5 mm	0,500	-	-	CBC-8050	CBC-8050	CBC-12050	CBC-12050
7/16"	11.2 mm	0,438	-	-	CBC-8043	CBC-8043	CBC-12043	CBC-12043
3/8"	9.5 mm	0,375	-	-	CBC-8037	CBC-8037	CBC-12037	CBC-12037
5/16"	8.0 mm	0,312	-	-	CBC-8031	CBC-8031	CBC-12031	CBC-12031

1/4"	6.3 mm	0,250	-	-	CBC-8025	CBC-8025	CBC-12025	CBC-12025
No.3 1/2	5.6 mm	0,223	-	-	CBC-8022	CBC-8022	CBC-12022	CBC-12022

<b>TABLA DE TAMICES</b>								
<b>SERIE FINOS</b>	<b>APERTURA DEL TAMIZ</b>		<b>DIAMETRO DE 3" (76 mm)</b>		<b>DIAMETRO DE 8" (203 mm)</b>		<b>DIAMETRO DE 12" (305 mm)</b>	
	<b>TAMAÑO O Numero DEL TAMIZ</b>	<b>ESTAN DAR</b>	<b>ALTERNATIVO</b>	<b>Numero DE MODELO DE BRONCE</b>	<b>Numero DE MODELO DE ACERO INOXIDABLE</b>	<b>Numero DE MODELO DE BRONCE</b>	<b>Numero DE MODELO DE ACERO INOXIDABLE</b>	<b>Numero DE MODELO DE BRONCE</b>
	(mm)	(ln)						
No. 4	4,75 mm	0,187	CB-34	CS-34	CB-84	CB-84	CB-124	CB-124
No. 5	4,00 mm	0,157	CB-35	CS-35	CB-85	CB-85	CB-125	CB-125
No. 6	3,35 mm	0,132	CB-36	CS-36	CB-86	CB-86	CB-126	CB-126
No.7	2,80 mm	0,111	CB-37	CS-37	CB-87	CB-87	CB-127	CB-127
No. 8	2,36 mm	0,0937	CB-38	CS-38	CB-88	CB-88	CB-128	CB-128
No. 10	2,00 mm	0,0787	CB-310	CS-310	CB-810	CB-810	CB-1210	CB-1210
No. 12	1,70 mm	0,0661	CB-312	CS-312	CB-812	CB-812	CB-1212	CB-1212
No. 14	1,40 mm	0,0555	CB-314	CS-314	CB-814	CB-814	CB-1214	CB-1214
No. 16	1,18 mm	0,0469	CB-316	CS-316	CB-816	CB-816	CB-1216	CB-1216
No. 18	1,00 mm	0,0394	CB-318	CS-318	CB-818	CB-818	CB-1218	CB-1218
No. 20	850 um	0,0331	CB-320	CS-320	CB-820	CB-820	CB-1220	CB-1220
No. 25	710 um	0,0278	CB-325	CS-325	CB-825	CB-825	CB-1225	CB-1225
No. 30	600 um	0,0234	CB-330	CS-330	CB-830	CB-830	CB-1230	CB-1230
No. 35	500 um	0,0197	CB-335	CS-335	CB-835	CB-835	CB-1235	CB-1235

No. 40	425 um	0,0165	CB-340	<b>CS-340</b>	<b>CB-840</b>	<b>CB-840</b>	<b>CB-1240</b>	<b>CB-1240</b>
No. 45	355 um	0,0139	CB-345	<b>CS-345</b>	<b>CB-845</b>	<b>CB-845</b>	<b>CB-1245</b>	<b>CB-1245</b>
No. 50	300 um	0,0117	CB-350	<b>CS-350</b>	<b>CB-850</b>	<b>CB-850</b>	<b>CB-1250</b>	<b>CB-1250</b>
No. 60	250 um	0,0098	CB-360	<b>CS-360</b>	<b>CB-860</b>	<b>CB-860</b>	<b>CB-1260</b>	<b>CB-1260</b>
No. 70	212 um	0,0083	CB-370	<b>CS-370</b>	<b>CB-870</b>	<b>CB-870</b>	<b>CB-1270</b>	<b>CB-1270</b>
No. 80	180 um	0,007	CB-380	<b>CS-380</b>	<b>CB-880</b>	<b>CB-880</b>	<b>CB-1280</b>	<b>CB-1280</b>
No. 100	150 um	0,0059	CB-3100	<b>CS-3100</b>	<b>CB-8100</b>	<b>CB-8100</b>	<b>CB-12100</b>	<b>CB-12100</b>
No. 120	125 um	0,0049	CB-3120	<b>CS-3120</b>	<b>CB-8120</b>	<b>CB-8120</b>	<b>CB-12120</b>	<b>CB-12120</b>
No. 140	106 um	0,0041	CB-3140	<b>CS-3140</b>	<b>CB-8140</b>	<b>CB-8140</b>	<b>CB-12140</b>	<b>CB-12140</b>
No. 170	90 um	0,0035	CB-3170	<b>CS-3170</b>	<b>CB-8170</b>	<b>CB-8170</b>	<b>CB-12170</b>	<b>CB-12170</b>
No. 200	75 um	0,0029	CB-3200	<b>CS-3200</b>	<b>CB-8200</b>	<b>CB-8200</b>	<b>CB-12200</b>	<b>CB-12200</b>
No. 230	63 um	0,0025	CB-3230	<b>CS-3230</b>	<b>CB-8230</b>	<b>CB-8230</b>	<b>CB-12230</b>	<b>CB-12230</b>
No. 270	53 um	0,0021	CB-3270	<b>CS-3270</b>	<b>CB-8270</b>	<b>CB-8270</b>	<b>CB-12270</b>	<b>CB-12270</b>
No. 325	45 um	0,0017	CB-3325	<b>CS-3325</b>	<b>CB-8325</b>	<b>CB-8325</b>	<b>CB-12325</b>	<b>CB-12325</b>
No. 400	38 um	0,0015	CB-3400	<b>CS-3400</b>	<b>CB-8400</b>	<b>CB-8400</b>	<b>CB-12400</b>	<b>CB-12400</b>
Platillo		CB-3500	CS-3500	<b>CB-8500</b>	<b>CB-8500</b>	<b>CB-8500</b>	<b>CB-12500</b>	—
Platillo con borde extendido			CB-3502	—	<b>CB-8502</b>	<b>CB-8502</b>	<b>CB-12502</b>	<b>CB-12502</b>
Tapa sin anillo			CB-3504	<b>CS-3504</b>	<b>CB-8504</b>	<b>CB-8504</b>	<b>CB-12504</b>	<b>CB-12504</b>
Tapa con anillo			CB-3506	<b>CB-8506</b>	—	—	—	

#### 6.4. ANEXO N° 7. FOTOGRAFÍAS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN



- tanque de almacenamiento de combustible



- Materia prima en el ingreso del horno



- Alimentación de combustible al horno



- Descarga de la cal viva



- Cal hidratada



- Molino para la cal hidratada



- Tamiz giratorio



- Toma de muestras

- Análisis en el laboratorio





- Ensayos del tamizado



- Elaboración del producto diseñado



- Pruebas al producto final





- Pruebas del producto diseñado en la pared

