



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

INGENIERÍA QUÍMICA

Diseño del Proceso de Elaboración de Empaste para Interiores
y Exteriores con el Uso de Polvo de Cal y Resina.

Tesis de grado previa a la obtención del título de

Ingeniero Químico.

JOSÉ EMILIANO VALDIVIESO NOBOA

Riobamba – Ecuador

2012

*Agradezco a la Corporación “**LOS NEVADOS**” por brindarme todas las facilidades para realizar este trabajo, a mis padres al igual que a mis hermanos y Maestros; mi eterna gratitud por el apoyo que me brindaron para poder alcanzar esta anhelada meta en mi vida.*

Al culminar una etapa más de mi vida dedico este trabajo y todo el esfuerzo reflejado en él a mis Padres José y Silvia, ya que sin su apoyo constante no hubiese alcanzado mi meta.

Firma

Fecha

Dra. Yolanda Díaz

Decana de la Facultad de Ciencias

.....

.....

Ing. Mario Villacrés

Director de la Escuela de Ingeniería Química

.....

.....

Ing. César Avalos

Director de Tesis

.....

.....

Ing. Aída Granja

Miembro del Tribunal

.....

.....

Ing. Gonzalo Sánchez

Miembro del Tribunal

.....

.....

Lic. Carlos Rodríguez

Director del Centro de Documentación

.....

.....

Nota de la Tesis Escrita

.....

.....

Yo José Emiliano Valdivieso Noboa, 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.

INDICE DE ABREVIATURAS

g:	gramo
ml:	mililitro
p:	porosidad en los morteros
R:	rendimiento del mortero
I:	Índice hidráulico
M:	Módulo hidráulico
D:	Densidad compactada
FC:	Factor de concentración en un horno
D:	Densidad por el método de Le Chatelier
DA:	Densidad aparente del mortero
dc:	Densidad del aglomerante
da:	Densidad de la arena
dw:	Densidad del agua
G:	Granos gruesos
M:	Granos medios
F:	Granos finos
KJ:	Kilojulios

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1	Empaste	25
1.1.1	Descripción	25
1.1.2	Usos	25
1.1.3	Ventajas	25
1.1.4	Modo de empleo:	26
1.1.4.1	Preparación de la superficie.....	26
1.1.4.2	Preparación del producto	26
1.2	Estuco.....	26
1.2.1	Composición	27
1.2.2	Aplicación.....	27
1.3	Revoco.....	28
1.3.1	Tipos de revoco.....	28
1.4	Mortero.....	29
1.4.1	Dosificación de morteros	29
1.4.2	Rendimiento de los morteros	31
1.4.3	Fórmulas de dosificación de morteros	31
1.4.3.1	Dosificación en volumen.....	31
1.4.3.2	Dosificación en peso.....	33
1.4.3.3	Porosidad y permeabilidad de los morteros.....	34

1.5	Morteros de cal.....	36
1.6	Morteros hidráulicos	37
1.6.1	Estudios de Feret.....	40
1.6.2	Amasado del mortero.....	42
1.7	Morteros mixtos o bastardos de cemento.....	43
1.8	Materias primas	44
1.8.1	Cemento	44
1.8.1.1	Clasificación	46
1.8.1.1.1	Cemento portland	46
1.8.1.2	Fabricación de cementos	46
1.8.1.2.1	Materias primas	47
1.8.1.2.1.1	Caliza	47
1.8.1.2.1.2	Arcilla.....	47
1.8.1.2.2	Extracción.....	48
1.8.1.2.3	Trituración	48
1.8.1.2.4	Propiedades generales del cemento.....	48
1.8.2	Cal.....	49
1.8.2.1	Cal viva.....	49
1.8.2.2	Clasificación	51
1.8.2.2.1	Cal grasa	51
1.8.2.2.2	Cales áridas o magras	51
1.8.2.2.3	Cales Hidráulicas.....	52
1.8.2.3	Fabricación	52
1.8.2.3.1	Extracción de la piedra	52

1.8.2.3.2	Calcinación	52
1.8.2.3.3	Extinción o apagado de la cal	56
1.8.2.3.4	Conservación de las cales	58
1.8.2.4	Cal hidráulica.....	58
1.8.2.4.1	Índice hidráulico	59
1.8.2.4.2	Fabricación	60
1.8.2.4.2.1	Extracción de la piedra caliza	60
1.8.2.4.2.2	Cocción	60
1.8.2.4.3	Apagado de la cal hidráulica	62
1.8.2.4.3.1	Cernido (Tamizado)	63
1.8.2.4.4	Propiedades de las cales hidráulicas.....	64
1.8.2.4.4.1	Composición Química.....	64
1.8.2.4.4.2	Riesgos	65
1.8.2.4.4.3	Propiedades físicas.....	65
1.8.2.4.4.4	Propiedades Termodinámicas	65
1.8.2.4.4.5	Densidad.....	66
1.8.2.4.4.6	Finura	66
1.8.2.4.4.7	Resistencias.....	66
1.8.2.5	Características técnicas de las cales	67
1.8.2.5.1	Ensayos de las cales.....	67
1.8.3	Arena.....	69
1.8.3.1	Clasificación	69
1.8.3.1.1	Composición mineralógica.....	69
1.8.3.1.2	Procedencia o yacimiento.....	69
1.8.3.2	Tamaño de los granos	70
1.8.3.3	Composición granulométrica.....	70
1.8.3.4	Forma de los granos.....	73
1.8.3.5	Peso de las arenas	73

1.8.3.6	Substancias nocivas	75
1.8.3.7	Propiedades.....	76
1.8.3.8	Atributos físicos.....	77
1.8.4	Resina acrílica.....	77
1.8.4.1	Definición	77
1.8.4.2	Características.....	77
1.8.4.3	Aplicaciones	78
CAPITULO II: PARTE EXPERIMENTAL.....		79
2.1	Muestreo.....	79
2.1.1	Localización de la investigación.....	79
2.1.2	Alcance	79
2.1.3	Terminología.....	79
2.2	Metodología	80
2.2.1	Métodos y técnicas.....	80
2.2.1.1	Métodos	80
2.2.1.1.1	Método Empírico.....	80
2.2.1.1.1.1	Observación	81
2.2.1.1.1.2	Experimentos y ensayos.....	81
2.2.1.1.1.3	La medición.....	82
2.2.1.2	Técnicas	84
2.2.1.2.1	Recopilación de la información.....	84
2.2.1.2.2	Entrevista.....	85
2.2.1.2.3	Análisis de laboratorio.....	86

2.2.1.2.3.1	Verificación y caracterización de la materia prima	86
2.2.1.2.3.1.1	Método por RAYOS X.....	86
2.2.1.2.3.1.2	Análisis gravimétrico y complexométrico.....	89
2.2.1.2.3.1.3	Determinación de la pérdida por calcinación	96
2.2.1.2.3.1.4	Determinación de carbonato de calcio total	97
2.2.1.2.3.1.5	Análisis Físico – Tamizado	99
2.2.1.2.3.1.6	Determinación de la consistencia normal de la cal.....	100
2.2.1.2.3.1.7	Determinación de la densidad relativa.....	102
2.2.1.2.3.1.8	Determinación de la densidad compactada aparente	105
2.3	Datos experimentales	106
2.3.1	Diagnóstico	106
2.3.1.1	Descripción del proceso de producción la planta de cal hidratada..	106
2.3.2	Datos	107
2.4	Datos adicionales	112
2.4.1	Tiempos de fraguados – Consistencia Normal	112
CAPITULO III: DISEÑO DEL PROCESO		113
3.1	Cálculos de ingeniería	114
3.1.1	Balance de Masa de la planta calera El Pacífico	114
3.1.1.1	Proceso Intermitente: Producción de Cal viva	114
3.1.1.2	Proceso Intermitente: Producción de Cal hidratada	116
3.1.2	Balance de energía	117
3.1.2.1	Proceso Endotérmico	117
3.1.2.2	Proceso Exotérmico.....	118
3.1.3	Dosificación de materias primas.....	118

3.1.4	Cálculo de la densidad – Método Le Chatelier.....	120
3.1.5	Cálculo de la densidad compactada.....	121
3.1.6	Balance de masa.....	122
3.1.6.1	Nuevo proceso para empaste exterior.....	122
3.1.6.2	Nuevo proceso para empaste interior.....	123
3.2	Resultados.....	125
3.2.1	Comparación con las NORMAS INEN.....	125
3.3	Propuesta.....	127
3.3.1	Diagrama del proceso.....	128
3.3.2	Descripción del proceso.....	129
3.3.3	Equipos.....	130
3.3.4	Diseño de presentación del producto final.....	130
3.3.4.1	Empaste Exterior.....	130
Beneficios.....		131
Aplicación.....		131
Consumo.....		131
3.3.4.2	Empaste interior.....	132
Beneficios.....		132
Aplicación.....		132
Consumo.....		133
3.4	Análisis y discusión de resultados.....	133

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
4.1 Conclusiones	141
4.2 Recomendaciones.....	142

TABLA DE ANEXOS

ANEXOS.....	146
Anexo I: Situación actual de la corporación “LOS NEVADOS”	147
ANEXO II: Producto de la corporación “LOS NEVADOS”	148
ANEXO III: Muestreo de la materia prima	149
ANEXO III: Laboratorio “CEMENTO CHIMBORAZO”	150
ANEXO IV: Análisis complexométrico - volumétrico	151
ANEXO V: Granulometría	152
ANEXO VI: Nuevo producto y su caracterización	153
Anexo VII: Tamices Gruesos	154
Anexo VIII: Tamices Finos	155
ANEXO IX: Cemento vía húmeda	156
ANEXO X: Cemento vía seca	157

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1: Composición química: Cal Hidratada	134
Grafico 2: Cal hidratada % CaO	134
Grafico 3: Cal hidratada % SiO ₂	135
Grafico 4: Cal Hidratada % Fe ₂ O ₃ y Al ₂ O ₃	135
Grafico 5: Cal hidratada % CO ₂	136
Grafico 6: Comparación de Densidades	137
Grafico 7: Temperatura en el Horno.....	137
Grafico 8: composición Química: Arena	138
Grafico 9: Carbonatos totales PIEDRA CALIZA	138
Grafico 10: Empaste Interior - Composicion Quimica.....	139
Grafico 11: Empaste Exterior - Composición Química.....	139
Grafico 12: Consistencia Normal	140
Grafico 13: Comparación de Granulometrías	140

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dosificación de morteros según FONT	36
Tabla 2: Dosificación de morteros según MAZZOCCHI.....	38
Tabla 3: Dosificación con cementos de fraguado rápido.....	38
Tabla 4: Dosificaciones de mortero generales	39
Tabla 5: Cantidades de componentes de 1m ³ de mortero bastardo	44
Tabla 6: Índices Hidráulicos	60
Tabla 7: Cal Hidráulica - Composición	64
Tabla 8: Composición media según LAFUMA.....	64
Tabla 9: Propiedades termodinámicas	65
Tabla 10: Según UNE 41.067-8.....	67
Tabla 11: Límites de calidad de la cal hidratada Norma INEN.....	68
Tabla 12: Límites de calidad de la cal viva Norma INEN.....	68
Tabla 13: Métodos de Ensayos	80
Tabla 14: Temperatura en el horno.....	107
Tabla 15: Granulometría CAL VIVA.....	107
Tabla 16: Granulometría EMPASTE COMERCIAL.....	108
Tabla 17: Granulometría ARENA MOLIDA (1h)	108
Tabla 18: Carbonatos Totales PIEDRA CALIZA	108
Tabla 19: Análisis Complejométrico: % SiO ₂	109

Tabla 20: Perdidas por Calcinación	109
Tabla 21: Análisis Complexométrico: % Fe_2O_3	110
Tabla 22: Análisis Complexométrico: % Al_2O_3	110
Tabla 23: Análisis Complexométrico: % CaO	110
Tabla 24: Composición Química por Espectrofotómetro de rayos X.....	111
Tabla 25: Pesos moleculares	112
Tabla 26: Consistencia Normal.....	112
Tabla 27: Entalpias de Formación	117
Tabla 28: Norma INEN - Los Nevados	125
Tabla 29: Densidades	125
Tabla 30: Granulometría EMPASTES	126
Tabla 31: Composición Química Empaste Exterior	126
Tabla 32: Composición Química Empaste Interior	127
Tabla 33: composición Química Empaste Comercial.....	127

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Frasco de Mariotte	35
FIGURA 2: Trituradora de rodillos	48
FIGURA 3: Calcinación al aire libre por capas	54
FIGURA 4: Calcinación en horno intermitente.....	54
FIGURA 5: Hornos continuos	55
FIGURA 6: Horno de TEIL.....	61
FIGURA 7: Hornos de Gasógeno.....	62
FIGURA 8: Tamaño de grano – Arena.....	71
FIGURA 9: Granulometría	72
FIGURA 10: Forma de granos.....	74
FIGURA 11: Aparato de VICAT.....	101

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación es diseñar el Proceso de Elaboración de Empaste para Interiores y Exteriores con el Uso de Polvo de Cal y Resina que se realizó en la corporación “LOS NEVADOS”, provincia de Chimborazo.

Para la caracterización de la materia prima, cal hidratada y arena se usaron los servicios de laboratorios en la “CEMENTO CHIMBORAZO S.A”, para análisis químico y físico con métodos volumétricos, complexométricos, y Cristalográfico por medio de un espectrofotómetro de rayos X. Para el producto propuesto se realizó ensayos, pruebas de pesaje, dosificación, molienda y cálculos de balance de masa.

Los datos de composición de cal hidratada fueron: Óxido de calcio y magnesio 59,41%; Óxido de silicio 6,45%; Óxidos de hierro y Aluminio 1,71%; y Dióxido de carbono 34,51%; y la propuesta para el producto final fue; empaste exterior desarrollado o propuesto de la siguiente composición: cal hidratada 67 %, Cemento 18 %, Arena 15% y empaste interior desarrollado o propuesto de la siguiente composición: cal hidratada 67 %, Cemento 13 %, Arena 20%.

Se concluyó que la materia prima analizada es de regular calidad por medio de la comparación con la norma de calidad ecuatoriana INEN 246: Composición Química de Cal hidratada para construcción, sin embargo se pudo obtener un producto que se asemeja a las características del comercial.

Las recomendaciones necesarias a tomar en cuenta para mejorar la calidad del proceso productivo para obtener cal hidratada, como el tamaño de la piedra caliza, sistemas de pesaje, control de temperatura del horno durante el período de calcinación, tiempo de residencia de la cal en el interior del horno, y equipos de apagado de cal.

SUMMARY

The objective of this research is to design the development process for indoor and outdoor filling using lime powder and resin that was held in the corporation “Los Nevados” in Chimborazo province.

For characterization of the raw material, hydrated lime and sand were used in laboratory services “Chimborazo Cement S.A” for chemical analysis and physical volumetric methods, complexometric, and crystallographic or through an X-ray spectrometer for the proposed chemical tests performed, test weighing, dosing, grinding and mass balance calculations.

Data on the composition of hydrated lime were: calcium and magnesium oxide 59.41%, 6.45% silicon oxide, iron oxide and aluminum 1.71% and 34.51% carbon dioxide and the proposal for the product outer end was developed or proposed filling of the following composition: 67% hydrated lime, cement 18%, 15% sand and developed or proposed inner filling of the following composition: 67% hydrated lime, cement 13% and sand 20%.

It was concluded that the raw material of fair quality is analyzed through comparison with the quality standard Ecuadorian INEN 246: Chemical Composition of hydrated lime for construction, but could get a product that resembles the characteristics of the commercial.

Necessary recommendations to consider improving the quality of the production process for hydrated lime, as the size of limestone, weighing systems, control of oven temperature during the calcination, the residence time of the lime in the furnace interior and slaking equipment.

INTRODUCCIÓN

La construcción actual es una constante tanto para las ciudades densamente pobladas e industrializadas cuanto para los cantones, parroquias y comunidades debido a que mientras aumenta la población por ende debe incrementarse lugares donde puedan vivir cómodamente y calidad aceptable de acabados de paredes tanto interiores y exteriores lo cual se logra con un empaste (mortero) que pueda cumplir expectativas visuales y duraderas de las casas construidas.

En la actualidad es imprescindible el diseño de un proceso de manera tal que la obtención de este producto derivado de la cal sea técnico y provea las facilidades para la labores de construcción minimizando pérdidas por obras no duraderas y no confiables.

En el Ecuador, los empastes que se venden en el mercado son producidos por empresas transnacionales, que tienen amplias facilidades para desarrollar nuevas tecnologías.

El presente trabajo investiga un proceso para darle mayor valor agregado a la cal, con el desarrollo de un proceso para obtener un empaste a partir de la cal producida por los socios de la corporación “LOS NEVADOS”.

El proceso de producción sigue estando bajo la responsabilidad del gobierno nacional, a pesar de las limitaciones presupuestarias y de las trabas administrativas propias de entes burocráticos, aunque tengan la buena intención y voluntad de trabajar por el desarrollo industrial Ecuatoriano.

Se espera que el diseño de este proceso amplíe el conocimiento de quienes se interesan en el eliminar importaciones y motive la puesta en marcha de proyectos de emprendimientos a fin de promover el trabajo beneficiándonos tanto económicamente como en conocimiento tecnológico del país y especialmente de la población de la

ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo por lo cual La corporación “LOS NEVADOS” tiene muchas expectativas en la realización de este proyecto.

ANTECEDENTES

La utilización de la cal como aglomerante o empaste para revestimiento exterior e interior ha sido una constante a lo largo de la historia, da fe de ello numerosos testimonios y documentos que han llegado a nuestros días.

Los restos más antiguos de los que se tienen constancia se sitúan en la ciudad de Catal Hüyük y datan del sexto milenio a. J.C. Los egipcios emplearon la cal como aglomerante de los morteros empleados en la construcción de las pirámides y también como soporte de las pinturas aparecidas en su interior.

En gran parte de los monumentos de la cultura griega aparecen restos de policromía realizadas con lechada de cal, pigmentos minerales y aditivos orgánicos.

Los romanos perfeccionaron la calidad de los morteros de cal, a través de la dosificación de sus componentes y experimentaron con la adicción de puzolanas o restos de arcilla cocida, para conferir al mortero propiedades hidráulicas. En este sentido hay que señalar la teoría del francés Lorient (1765) que tras la experimentación de diversas mezclas con la incorporación de cal viva, concluyó con la formulación empleada en los morteros romanos:- Arena: 3 partes- Ladrillo en polvo: 3 partes- Cal apagada: 2 partes- Cal viva: 2 partes.

La España árabe, a través de las mezclas de cal, yeso y áridos de mármoles, perfeccionaron las técnicas de yeserías y estucos, dejando numerosas muestras de extraordinarias decoraciones y del alto nivel técnico alcanzado.

En la Edad Media se prosiguió con el empleo de los morteros de cal en la construcción de los muros de fábrica y mampostería. A través de los siglos XVIII y XIX se generaliza la ejecución de revocos y estucos, concediendo mucha importancia a la decoración de

los espacios interiores, la técnica de los artesanos venecianos para realizar los estucos marmorizados sería rápidamente difundida por toda Europa.

Pero no solamente en Occidente encontramos testimonios del empleo de la cal, sino que existen numerosos ejemplos de las culturas maya, azteca, china, india, etc.

Durante el siglo XX se ha producido la decadencia en el empleo de la cal en la construcción, numerosas son las circunstancias que han influido en ello: Sustitución de la tipología estructural clásica y el empleo de las estructuras metálicas y de hormigón armado; la aparición del cemento Portland y uso generalizado en todos los elementos constructivos; las fábricas de ladrillo visto, la comercialización de mármoles y granitos y su uso en aplacados; el desarrollo tecnológico y la aparición de pinturas, morteros sintéticos y el empleo de vidrios y metales en muros cortina; las corrientes migratorias hacia Europa de la mano de obra especializada y posteriormente el encarecimiento de la mano de obra; etc.

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 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.

JUSTIFICACIÓN

La Corporación de productores de cal “LOS NEVADOS” PROVINCIA DE CHIMBORAZO, en cooperación con la Agencia de desarrollo Crecer, calificada para la gestión y consultoría a los ministerios de industrias y producción “MIPRO” y el Ministerio Coordinador de la producción, Empleo, y Competitividad (MCPEC), dentro de los cuales, a través de sus programas de apoyo a la producción de FONDEPYME e INNOVA ECUADOR, que establece la formulación y emprendimientos a nivel personal y asociativos con productores, emprendedores y grupos asociados quienes han visto la necesidad de un incremento de la producción, mejoramiento de los procesos, generación de empleo, mejora de la competitividad, y mejora de la calidad de los productos nacionales hasta tener una calidad exportable. Especialmente la ejecución de este proyecto de tesis contempla todos estos aspectos ya antes mencionados dentro del estudio de productos derivados de “LA CAL” específicamente el proceso de elaboración de empaste para interiores y exteriores utilizando resina, más un valor agregado que capte la demanda de clientes.

La construcción hoy en día es muy exigente y común en cualquier hogar e institución por lo que es de suma importancia que los materiales sean de una alta calidad y que brinden unos acabados como en el caso del empaste de primera tanto en paredes interiores como exteriores razón por la cual esta investigación es de suma importancia más aun cuando se trata de proporcionar una composición químicamente hablando que cumpla con las expectativas de los clientes así mejorar la economía de quienes producen una de las materias primas para la producción de dicho producto.

Objetivos

General

- Diseñar el proceso de elaboración de empaste para interiores y exteriores en el uso de polvo de cal y resina.

Específicos

- Caracterizar de la materia prima (físico-química de la cal)
- Elaborar una composición química (mezcla) que permita obtener un empaste de buenas condiciones y propiedades.
- Conocer el rendimiento de este proceso de producción (kg de empaste / kg de cal hidratada)
- Calcular la cantidad de empaste producido por año tomando en cuenta la producción de cal en La Corporación “LOS NEVADOS” PROVINCIA DE CHIMBORAZO.
- Caracterizar el producto final obtenido (empaste).

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Empaste

Es una mezcla de cemento y agregados de piedra caliza (CAL) con granulometría controlada más aditivos químicos, para que solo agregue agua limpia y forme una pasta trabajable lista para usarse.

1.1.1 Descripción

Empaste Blanco para Interiores es una base acrílica para pinturas, dando como resultado un excelente acabado estético y decorativo.

1.1.2 Usos

Recomendado para paredes interiores y exteriores de hoteles, escuelas, industrias, viviendas, oficinas, etc.

1.1.3 Ventajas

- Es una base para pinturas en paredes interiores.
- Se adhiere bien a la superficie y no se entiza una vez seco.
- Cubre pequeñas fisuras.
- Color estable.
- No necesita humedecer la superficie.
- Ahorro de tiempo en la aplicación.
- Ahorro de pintura y alarga la vida del acabado.
- Se obtienen acabados lisos.
- Económico.

1.1.4 Modo de empleo¹:

1.1.4.1 Preparación de la superficie

- La superficie debe estar, limpia, sana y seca.
- En superficies nuevas deben esperarse 6 días para su aplicación.

1.1.4.2 Preparación del producto

- Diluya la resina (Comp. A) con 4 o 5 partes de agua y utilice esta dilución como único líquido de amasado.
- Adicione poco a poco el polvo (Comp. B) hasta obtener una pasta de consistencia uniforme.
- Aplicar con llana metálica mínimo 2 manos.
- Dejar secar el Empaste antes de aplicar la pintura.
- Lave las herramientas con agua una vez terminada la aplicación.

1.2 Estuco

El **estuco** es una pasta de grano fino compuesta de cal apagada (normalmente, cales aéreas grasas), mármol pulverizado y pigmentos naturales, que se endurece por reacción química al entrar en contacto el carbonato cálcico de la cal con el dióxido de carbono (CO₂) y se utiliza sobre todo para enlucir paredes y techos. Admite numerosos tratamientos, entre los que destacan el modelado y tallado para obtener formas ornamentales, el pulido para darle una apariencia similar al mármol y el pintado polícromo con fines decorativos.

El término estuco proviene del italiano stucco, siendo una forma de terminación o decoración de paredes y techos, interiores o exteriores, basada en pinturas y diferentes

¹ Detalles dados por Sika

² es.wikipedia.org/wiki/Revoco

³ OIZUS, Félix. Materiales de construcción, pp 267-271

tipos de morteros que permite la obtención de diversas texturas. Dada su versatilidad, se adapta a cualquier tipo de construcción o época. Además de la función decorativa, refuerza el muro y lo impermeabiliza, permitiendo la transpiración natural.

El estuco más famoso es el veneciano, también llamado "Lustro Veneciano". Es un revestimiento que se inventó en Venecia (Italia) a comienzos del siglo XV. Su acabado muestra una pared plana, lisa y brillante como un mármol pulido, con diferentes tonalidades de color, de gran belleza.

1.2.1 Composición

Dentro del estuco tradicional, los morteros están compuestos de cal, arena de mármol y pigmentos naturales, que se suelen barnizar con ceras o aguarrás. También puede estar compuesto por yeso o escayola, resinas y colas naturales. En el estuco de nueva generación, se suele añadir resina sintética.

1.2.2 Aplicación

La superficie debe estar sana y limpia, libre de partes sueltas, contaminación de aceites, polvo u otras sustancias extrañas. Puede estar seca, húmeda o saturada, pero libre de encharcamientos.

Sobre bloque: Se Humedece ligeramente la superficie, y se aplica una capa de 2 a 4 mm cubriendo toda el área con una llana lisa. Se deja secar la aplicación durante 12 horas y se aplica una segunda capa no mayor a 3 mm para dar el acabado final.

Sobre una superficie fina de cemento o yeso: Se aplica el estuco con una llana lisa cubriendo toda la superficie con una capa no mayor a 4 mm. Una vez comenzado el secado se le puede dar textura.

1.3 Revoco²

Revoco se denomina al revestimiento exterior de mortero de agua, arena y cal o cemento, que se aplica, en una o más capas, a un paramento enfoscado previamente. El cemento proporciona dureza al acabado y la cal flexibilidad, y, en función de la proporción de cada uno de estos componentes, se potencia la citada característica.

Es un tipo de acabado continuo cuyo fin es mejorar el aspecto y las características de las superficies de muros, tabiques y techos.

1.3.1 Tipos de revoco

- ✓ **Revoco rayado:** es una pasta rayable que contiene arena natural. Se debe trabajar con una llana de plástico o madera, para que los granos de arena marquen rayas en la masa cuando todavía está húmeda.
- ✓ **Revoco rugoso, o picado:** es una pasta al agua, sin arena, que se puede aplicar con llana, rodillo o pistola. Se consiguen diferentes texturas utilizando: llana, paleta, rodillos de esponja gorda, o de goma, cepillos, cuando todavía está húmeda.
- ✓ **Revoco liso:** es un tipo de revestimiento continuo realizado al exterior de un paramento, con mortero de cal, yeso, cemento o mixto, que consta de varias capas de mortero, tendidas o proyectadas, de la misma o diferente composición y dosificación, y que admite diferentes acabados.

Algunos revocos se realizaban a principios del siglo XX con pelo pulverizado de la cola y la crin de burro.

- ✓ **Revoque ignífugo:** es aquel tipo de revoco al que se añaden sustancias o materiales, con propiedades de resistencia frente al fuego. Se emplea para

²*es.wikipedia.org/wiki/Revoco*

revestir todo tipo de estructuras, paramentos, o cualquier otro elemento al que se tenga que incrementar su resistencia o estabilidad al fuego. Es muy utilizado para proteger estructuras metálicas conformadas por elementos de acero.

1.4 Mortero

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.

Los morteros se clasifican, como los aglomerantes, en aéreos e hidráulicos.

Estudiados anteriormente los aglomerantes, vamos a describir las condiciones que deben reunir la arena y el agua, y después lo haremos de las mezclas.

1.4.1 Dosificación de morteros³

Hemos indicado anteriormente que los morteros son 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 de cal, debido a la evaporación del agua de amasado y a la compresión producida por el peso de la obra. En los aglomerantes

³OIZUS, Félix. Materiales de construcción, pp 267-271

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.

Teóricamente sólo se precisa la cantidad de aglomerante necesaria para cubrir con una película a los granos de arena, que los podíamos suponer tangentes entre sí: pero si además queremos que sean compactos e impermeables, tendremos que llenar los huecos con aglomerantes u otro cuerpo más económico.

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 representan por 1 : 3. En general se expresa:

Cemento: árido: agua;

y abreviadamente:

c : a : w.

y tomando el aglomerante como unidad:

1: 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.

La consistencia o estado de fluidez de los morteros, seca, plástica, blanda y fluida se aprecia con la mesa de sacudidas y con el docilímetro pequeño de 2,7 Kg.

1.4.2 Rendimiento de los morteros

El volumen del mortero resultante es inferior a la suma de los volúmenes aparentes de los componentes, porque se rellenan los huecos de la arena con la pasta del aglomerante. Si se conocen las densidades aparentes y reales de los componentes de mortero, se pueden determinar las cantidades en peso de cemento y arena necesarios para preparar 1 m³ de mortero, porque se cumple la ley de SCHUMANN, que dice que el volumen real de una mezcla es igual a la suma de los volúmenes reales de los componentes.

En la práctica el volumen real será mayor o menor, porque siempre queda aprisionado aire, se evapora agua y no se puede comprimir el mortero hasta el máximo.

1.4.3 Fórmulas de dosificación de morteros

La dosificación puede hacerse en volumen y en peso.

1.4.3.1 Dosificación en volumen.

La forma de dosificación en volumen aparente es inexacta, pues las cantidades de materiales necesarias para obtener un metro cúbico depende de muchos factores: relación de la mezcla, composición granulometría de áridos, forma, humedad, asentamiento, llenado del recipiente.

Además hay que tener presente que el mortero resultante no es igual a la suma de los volúmenes aparentes de los componentes porque se rellenan los huecos con la pasta del aglomerante, teniendo que hallar el rendimiento, que es igual a la relación entre el

volumen aparente del mortero resultante y la suma de los volúmenes aparentes de los componentes:

$$R = \frac{V_A}{1 + a + w}$$

Donde:

R= rendimiento

V_A = Volumen Aparente

a= Arena

w= agua

y llamado D_A , d_c , d_a , d_w a las densidades aparentes del mortero, aglomerante, arena y agua, tendremos:

$$R = \frac{1 d_c + a d_a + w d_w}{(1 + a + w)D_A}$$

Conocido el rendimiento, se podrá determinar la dosificación por las fórmulas siguientes:

Sea un mortero 1: a: w; los volúmenes de los componentes para 1 m³ serán:

$$Aglomerante = \frac{1}{(1 + a + w)D_A}$$

$$Arido = \frac{a}{(1 + a + w)D_A}$$

$$Agua = \frac{w}{(1 + a + w)D_A}$$

Ejemplo. — Cantidades de cemento, arena y agua necesarias para preparar 1 m³ de mortero en la proporción 1:3: 0,5 con un rendimiento igual a 0,8:

$$\text{Cemento} = \frac{1}{(1 + 3 + 0,5)0,8} = 0,280 \text{ m}^3$$

$$\text{Arido} = \frac{3}{(1 + 3 + 0,5)0,8} = 3 \times 0,280 = 0,840 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{0,5}{(1 + 3 + 0,5)0,8} = 0,5 \times 0,280 = 0,140 \text{ m}^3$$

1.4.3.2 Dosificación en peso

El valor exacto de materiales necesarios para preparar 1 m³ de mortero se calcula determinando la densidad aparente del mortero fresco, para lo cual se pesan probetas del mortero recién preparado, pesando los componentes, y sea G el peso de 1 m³, y la relación de mezcla de los componentes sea 1: k: w, y se precisarán las cantidades siguientes para obtener 1 m³ de mortero solidificado, según LENHAR:

$$\text{Aglomerante } Z = \frac{G}{1 + h + w} \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Arido} = \frac{G}{1 + h + w} = Z_k \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{G}{1 + h + w} = Z_w \text{ kg/m}^3$$

Si se desea expresar en litros por metro cúbico de mortero terminado y asentado, se sigue el mismo procedimiento, que es muy exacto, y se dividen los valores hallados por las densidades aparentes de cada cuerpo.

Ejemplo. —Sea un mortero de la relación 1:6: 0,52 en peso, y la densidad aparente del mortero fresco sea 2.300 Kg/m³⁴

$$\text{Aglomerante } Z = \frac{G}{1 + h + w} = \frac{2320}{1 + 6 + 0,52} = 308,5 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Arido} = \frac{G}{1 + h + w} = \frac{2320}{1 + 6 + 0,52} = 308,5 \times 6 = 1851 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{G}{1 + h + w} = \frac{2320}{1 + 6 + 0,52} = 308,5 \times 0,52 = 160 \text{ kg/m}^3$$

1.4.3.3 Porosidad y permeabilidad de los morteros

La porosidad se define como los huecos o vacíos existentes en un mortero y que pueden llenarse de un líquido que penetre por capilaridad o presión.

La permeabilidad consiste en dejarse atravesar o filtrar por los líquidos a presión.

Aunque estas dos propiedades parecen la misma y se han confundido durante mucho tiempo, no son iguales, pues es sabido que los morteros hechos con arena fina son muy porosos, pero poco permeables, y lo mismo le sucede al hormigón celular al estar constituido por multitud de poros sin comunicación entre sí, sucediendo todo lo contrario en los morteros corrientes.

En la práctica, un mortero muy compacto es poco poroso, y se busca la impermeabilidad aumentando la compacidad, y aunque teóricamente ningún mortero u hormigón son rigurosamente impermeables, se puede comprobar en los ensayos de filtración que con el tiempo lo son, explicándose porque la pasta de cemento se porta

⁴OIZUS, Félix. Materiales de construcción, pp 270,271

como un coloide, hinchándose con la humedad, disminuyendo el volumen de los poros y de las fisuras.

La porosidad en los morteros se expresa por la relación que hay entre el volumen de huecos o vacíos y el volumen aparente total:

$$P = \frac{V - V'}{V}$$

El volumen aparente, V , se determina con la balanza hidrostática o con un calibrador, y el volumen de los huecos, por la diferencia entre el volumen aparente y el volumen de la parte sólida, V' , que se aprecia pesando la probeta desecada a 50° en el aire y después de saturada de agua y pesada sumergida. La saturación de la probeta se hace por el vacío o por inmersión paulatina en agua.

La permeabilidad se expresa por la cantidad de agua que atraviesa el mortero en una hora y a determinada presión.

Para cargas menores de un metro se utiliza una probeta cúbica de 7,1 cm. de arista, saturada de agua, y se mantiene sumergida en ella, a la que se fija mediante cemento, azufre, etc., un tubo de vidrio de 35 mm. de diámetro y 110 milímetros de altura, obturado con un tapón atravesado por un tubo y unido a un frasco de Mariotte colocado a la altura deseada. La lectura del frasco indica el agua filtrada a través de la probeta.

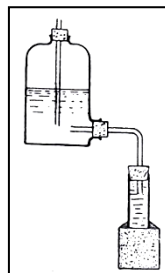


FIGURA 1: Frasco de Mariotte

Para presiones mayores se utilizan acumuladores de aire comprimido, que mantienen la presión constante, recogiendo el agua que atraviesa en una probeta graduada.

1.5 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 m³ de mortero, son:

Tabla 1: Dosificación de morteros según FONT

TIPO	Dosificación en volúmenes Cal-arena	Cal apagada en pasta m³	Arena m³	Agua m³
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 160Kg	1 : 4	0,260	1,050	0,100
De 135 Kg	1 : 5	0,220	1,100	0,100

Fuente: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

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 /cm² a la tracción y 16 Kg/cm² 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.

1.6 Morteros hidráulicos

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, además, con el grado de hidraulicidad de la cal, y según MAZZOCCHI se emplean las dosificaciones siguientes:

Tabla 2: Dosificación de morteros según MAZZOCCHI

CLASE DE OBRA	CAL POR m ³ DE ARENA	
	Medianamente hidráulica Kilogramos	Eminentemente hidráulica Kilogramos
Enlucidos	500-600	600- 1000
Rellenos	360-400	400- 500
Muros de ladrillo	300-360	350- 400
Muros de piedra	260-300	300- 350

Fuente: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

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

Tabla 3: Dosificación con cementos de fraguado rápido

CLASE DE OBRA	Kilogramos de cemento por m ³ de arena
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: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

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 ó 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 4: Dosificaciones de mortero generales

CLASE DE OBRA	Kilogramos de cemento por m³ de arena
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: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

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/cm² amasados secos y apisonados y corrientemente alcanzan los 200 Kg. por centímetro cuadrado.

1.6.1 Estudios de Feret⁵

Después de muchos experimentos, llegó a la conclusión de que las propiedades características de los morteros hidráulicos como la solidez, impermeabilidad, porosidad, inalterabilidad a la acción del agua de mar dependen, además de la calidad del cemento, de la composición granulométrica de los elementos que los integran.

Llamando c, s, a y v a los volúmenes absolutos de cemento, arena, agua y huecos que forman un metro cúbico de mortero, se tendrá que:

$$c + s + a + v = 1$$

La compacidad es la suma de los materiales sólidos, cemento y arena, y la porosidad, la suma de los huecos, más el agua.

La compacidad del mortero, que depende a su vez de la composición granulométrica, tiene una gran importancia en las resistencias.

⁵OIZUS, Félix. Materiales de construcción, pp 279,280

FERET establece la ley de que para toda clase de morteros plásticos hechos con igual cemento y arena inertes la resistencia a la compresión, después del mismo período de conservación en iguales condiciones, depende únicamente de la relación:

$$\frac{c}{a + v} = \frac{c}{1 - (c + s)}$$

Cualesquiera que sean las cantidades de cemento, agua y arena y de la naturaleza y grueso de los granos. Se puede observar que la resistencia a la compresión es directamente proporcional a la cantidad de cemento (c) e inversamente a la de agua y huecos (a +v)

Se expresa la ley de FERET, de la resistencia a la compresión, por la fórmula:

$$R = K \left(\frac{c}{1 - s} \right)^2$$

en la que R es la resistencia a la compresión, y K, un coeficiente que depende de la calidad del cemento y edad del mortero.

Un mortero con igual dosis de cemento puede ser más o menos resistente según que la arena sea más o menos compacta, y se procura que ésta sea lo más posible, por tener menor proporción de huecos.

Las conclusiones a que llega FERET con morteros plásticos son:

- ✓ Para todo mortero fabricado con arena que contenga por lo menos 1/3 de su peso de granos finos (menos de 0,5 mm. de diámetro) la compactidad es menor cuanto más rico es el mortero de cemento.
- ✓ El mortero más compacto es aquel en el cual la suma de los volúmenes de arena fina y cemento es igual a la mitad de la suma de los volúmenes de granos

gruesos y medios de la arena empleada (la arena, a lo más, ha de contener 1/3 en peso de granos finos, y las mejores son las que no contienen granos medios).

- ✓ La compacidad aumenta con la cantidad de granos gruesos respecto a los de tamaño medio.

1.6.2 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.

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.

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.

1.7 Morteros mixtos o bastardos de cemento

Están compuestos de cemento, cal y arena.

Cuando las resistencias de una obra requieran morteros áridos, al pasar de las proporciones 1 : 5 resultan poco trabados, se adhieren mal y son muy porosos.

Se acostumbra añadir alguna sustancia que haga el mortero más compacto y plástico, como arena molida, puzolana, etc., pero generalmente lo que se añade es cal en polvo o pasta, procurando que esté bien molida y cernida, para que se hidrate bien y no produzca expansiones después.

Estos morteros se caracterizan por tener un endurecimiento bastante rápido, evitan grietas por contracción, aumentan la plasticidad y adherencia siendo más compactos, tienen propiedades hidráulicas enérgicas y secan en poco tiempo.

Si la cal añadida está en pasta, contiene la mitad de su peso de agua, y hay que tenerlo en cuenta para la dosificación.

Según FONT, las cantidades de materiales necesarias para obtener un metro cúbico de mortero son las de la tabla siguiente:

Cantidades de componentes de 1m³ de mortero bastardo

Tabla 5: Cantidades de componentes de 1m³ de mortero bastardo

Volúmenes Cemento-Cal- Arena	Cemento Kilogramos	Cal en pasta Litros	Arena Litros	Agua Litros	Aplicaciones
1 : 1 : 4	290	215	860	168	Enlucido de ladrillos. Mampostería y bóvedas.
1 : 1 : 6	220	165	980	170	
1 : 1 : 8	185	135	1060	170	
1 : 2 : 6	180	275	830	160	Morteros impermeables.
1 : 2 : 8	155	230	920	165	
1 : 2 : 10	133	197	990	167	

Fuente: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

1.8 Materias primas

1.8.1 Cemento

El nombre de cemento se cree deriva de *caementum*, que en latín significa argamasa, y procede, a su vez, del verbo *caedere* (precipitar).

Antiguamente se aplicaba a los morteros en general, cualquiera que fuera la substancia aglomerante, y desde el año 1792, en que PARKER patentó su cemento natural o romano, a los productos resultantes de la cocción de caliza y arcilla.

Bosquejo histórico

El inglés J. SMEATON, en 1756, fue encargado de reconstruir el faro de Eddystone, y se le ocurrió investigar las causas del endurecimiento de los morteros hidráulicos, que en aquella época estaban exclusivamente formados por cal y puzolana, y observó eran los fabricados con calizas arcillosas. J. PARKER, en 1796, descubrió se podían fabricar cementos hidráulicos naturales calcinando nódulos de caliza arcillosa, llamándoles cementos romanos, por sus propiedades hidráulicas, aunque no se parecen a los morteros hidráulicos. Al mismo tiempo se descubría en Francia otro cemento natural análogo.

VICAT, en Francia, a primeros del siglo XIX, ya hemos visto en las cales hidráulicas, las fabricó artificialmente al intentar obtener cementos, para lo cual cocía mezclas de caliza y arcilla por vía húmeda.

Pero se atribuye a JOSÉ ASPDIN la invención del cemento Portland, pues lo patentó en 1824, y por el parecido de color que adquiere, después de fraguado, con la piedra de la localidad inglesa de Portland, le puso este nombre. La fabricación consistía en obtener primeramente cal, la cual mezclaba con arcilla, la volvía a cocer en hornos análogos a los de cal, y pulverizaba el producto resultante; pero como la temperatura era baja, se obtenía cemento de mala calidad. JOHNSON observó que los fragmentos muy cocidos, una vez pulverizados, fraguaban lentamente, elevándose la temperatura desde entonces hasta un principio de fusión.

Durante todo el siglo pasado se montaron fábricas en Inglaterra, Francia y Alemania, empleando hornos verticales, y a final de siglo se inventó por **RAMSOME** el horno giratorio que acabó de perfeccionar la fabricación. En España, la primera fábrica, la de

Tudela Veguín, data de 1898, y se instaló en Oviedo.⁶

1.8.1.1 Clasificación

Existen varias maneras de clasificarlos, según el fraguado, composición química y aplicación.

a) Con relación al tiempo del fraguado, se dividen en cementos de fraguado rápido (cementos romanos) y lentos, según que éste termine antes o después de una hora, respectivamente.

b) Por su composición química se denominan cementos naturales, Portland, *grappiers*, escorias, puzolánicos, aluminosos, sulfatados, etc., que es el empleado en Europa y que seguiremos para su estudio.

c) Según sus aplicaciones, de altas resistencias iniciales, resistentes a sulfatos, bajo calor de hidratación, como en Norteamérica.

1.8.1.1.1 Cemento portland

Se define como el producto artificial resultante de calcinar hasta un principio de fusión mezclas rigurosamente homogéneas de caliza y arcilla, obteniéndose un cuerpo llamado *clinker*, constituido por silicatos y aluminatos anhidros, el cual hay que pulverizar junto con yeso, en proporción menor del y por 100, para retrasar su fraguado.

1.8.1.2 Fabricación de cementos

Comprenden una serie de operaciones comunes a todos ellos, que vamos a describir brevemente para el cemento Portland, y después sólo indicaremos, al tratar de cada clase, las variaciones y propiedades que los caracterizan.

⁶OIZUS, Félix. Materiales de construcción

1.8.1.2.1 Materias primas

Siendo difícil encontrar en la Naturaleza calizas con la cantidad de arcilla precisa para fabricar este producto, se recurre a mezclar rocas calizas y arcillas naturales en proporciones determinadas. Se emplean también productos artificiales calizos, como las escorias de altos hornos, residuos de la industria de los álcalis, etc., y la arena de residuos de minerales de hierro para la arcilla.

1.8.1.2.1.1 Caliza

Está formada por carbonato cálcico CO_3Ca , en el cual el 56 por 100 es de óxido de cal CaO , y el 44 por 100, anhídrido carbónico CO_2 . Se presenta en la Naturaleza, cristalizada en el sistema hexagonal, en romboedros de peso específico igual a 2,7-2,8. Dureza igual a 3 de la escala de MOHS; de color blanco o transparente, formando el espato calizo o calcita, y cristalina, formando la roca caliza, que, según el agrupamiento de los cristales, recibe los nombres de caliza sacaroide, caliza concrecionada, caliza conchiforme, creta (caparazones de foraminíferos), caliza litográfica, etc.

El aragonito cristaliza en agujas rómbicas de color blanco o rojizo. Dureza igual a 3,5-4. Peso específico igual a 2,9.

Las calizas están casi siempre impurificadas por otras sustancias: sílice, alúmina, óxido de hierro, magnesia, etc., y según su proporción las hacen ser útiles, como las que contienen alúmina y sílice (margas), o desechables, aun en pequeña cantidad, como la magnesia (dolomías). Las margas son las mejores, pues se encuentran ya mezclados sus componentes, y todo se reduce a añadir la cantidad de arcilla estrictamente necesaria.

1.8.1.2.1.2 Arcilla

Está formada por silicatos aluminicos hidratados amorfos, procedentes de la descomposición de los feldespatos. Cuando está pura forma el caolín ($2 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2$

H₂O), de color blanco, de cristales muy pequeños.

Si están impurificadas por el hierro, sílice, álcalis, etc., según su proporción, se llaman grasas o magras. El peso específico medio es de 2,25; las mejores son los caolines, cuya única impureza es la arena, siendo pobres en fundentes.

Las arcillas grasas son plásticas, y como tienen impurezas, son más fusibles. Aproximadamente tienen la siguiente composición: sílice, 60 por 100; alúmina, 20 por 100; óxido de hierro, 8 por 100; cal, 6 por 100; magnesia, 3 por 100, y álcalis, 2 por 100.

1.8.1.2.2 Extracción

La roca caliza se suele hacer a cielo abierto, por voladuras con dinamita. La arcilla se extrae con picos o palas excavadoras, cargando directamente las vagonetas.

1.8.1.2.3 Trituración

Se practica con machacadoras de mandíbulas, trituradores de martillo, de campana, de rodillos, etc.

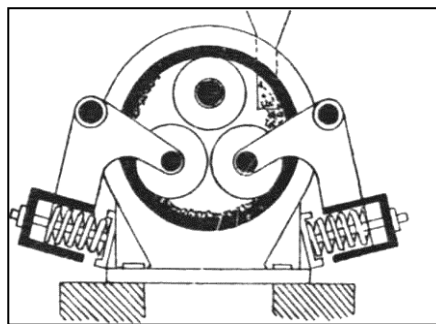


FIGURA 2: Trituradora de rodillos

1.8.1.2.4 Propiedades generales del cemento

- Buena resistencia al ataque químico.
- Resistencia a temperaturas elevadas. Refractario.

- Resistencia inicial elevada que disminuye con el tiempo. Conversión interna.
- Se ha de evitar el uso de armaduras. Con el tiempo aumenta la porosidad.
- Uso apropiado para bajas temperaturas por ser muy exotérmico.

Está prohibido el uso de cemento aluminoso en hormigón pretensado. La vida útil de las estructuras de hormigón armado es más corta.

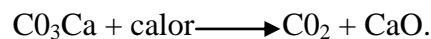
El fenómeno de conversión (aumento de la porosidad y caída de la resistencia) puede tardar en aparecer en condiciones de temperatura y humedad baja.

El proyectista debe considerar como valor de cálculo, no la resistencia máxima sino, el valor residual, después de la conversión, y no será mayor de 40 N/mm².

Se recomienda relaciones $A/C \leq 0,4$, alta cantidad de cemento y aumentar los recubrimientos (debido al pH más bajo).

1.8.2 Cal

Es el producto resultante de la descomposición por el calor de las rocas calizas. Si éstas son puras y se calientan a temperatura superior a 900⁰C, se verifica la siguiente reacción:



El carbonato cálcico CaCO₃ se descompone, dando anhídrido carbónico CO₂, que es gaseoso y se desprende junto con los humos del combustible y el óxido del calcio CaO.

1.8.2.1 Cal viva

Al óxido de calcio se llama también cal viva, siendo un producto sólido, de color blanco, amorfo aparentemente, pues cristaliza en el sistema regular, cuando se funde a 2.570⁰C con un peso específico igual a 3,18 ó 3,40, según sea cocida a baja o alta

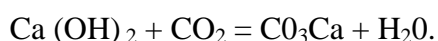
temperatura, respectivamente: inestable, por tener gran avidez para el agua, con la que reacciona de la siguiente manera:



Produciéndose hidróxido cálcico $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o cal apagada, desprendiendo calor, elevándose la temperatura a unos 160°C pulverizándose y aumentando considerablemente de volumen aparente. Esta avidez para el agua es tan grande que absorbe el vapor de agua de la atmósfera y la de las sustancias orgánicas, produciendo efectos cáusticos.

El hidróxido cálcico es un cuerpo sólido, blanco, amorfo, pulverulento, algo soluble en el agua, 1,23 gr. por litro a 20°C a la que comunica un color blanco (agua de cal o lechada), y en mayor cantidad forma con ella una pasta muy trabada, fluida y untuosa, llamada cal apagada.

La *cal apagada* en pasta tiene la propiedad de endurecerse lentamente en el aire, enlazando los cuerpos sólidos, por lo cual se emplea como aglomerante. Este endurecimiento recibe el nombre de *fraguado*, y es debido primeramente a una desecación por evaporación del agua con la que se formó la pasta, y después, a una carbonatación por absorción del anhídrido carbónico del aire:



Formándose carbonato cálcico y agua, reconstituyendo la caliza de que se partió.

Esta reacción es muy lenta, pues empieza a las veinticuatro horas de amasar la pasta y termina al cabo de los seis meses, por lo que las obras en que se emplea tardan mucho en secarse y adquirir la solidez definitiva.

Se verifica sólo en el aire seco; en el húmedo, con mucha dificultad, y no se realiza dentro del agua, pues la disuelve, no sirviendo para obras hidráulicas.

Por otro lado, al fraguar experimenta una contracción o disminución de volumen, que unida a la que experimenta por el peso propio de la obra, produce asentos y grietas.

1.8.2.2 Clasificación

Las calizas naturales casi nunca son la especie química carbonato de calcio, pues le acompañan otros cuerpos como la arcilla, magnesia, hierro, azufre, álcalis y materias orgánicas, las cuales, al calcinarse, de no volatizarse, comunican a la cal propiedades que dependen de la proporción en que entran a formar parte en la piedra caliza y clasifican en cales grasas, magras e hidráulicas.

1.8.2.2.1 Cal grasa

Si la caliza primitiva contiene hasta un 5 por 100 de arcilla, la cal que produce al calcinarse se la denomina cal grasa, y al apagarse da una pasta fina trabada y untuosa, blanca, que aumenta mucho de volumen, permaneciendo indefinidamente blanda en sitios húmedos y fuera del contacto del aire, y en el agua termina por disolverse.

Se llama *rendimiento* de una cal a la relación que hay entre el volumen resultante de la pasta y el primitivo de la cal viva. Con las buenas cales grasas llega a ser tres veces y media; con 100 litros de cal viva se suelen obtener hasta 300 litros de cal en pasta.

El peso específico es igual a 2,25, y la densidad aparente, 0,4.

1.8.2.2.2 Cales áridas o magras

Son las que proceden de calizas que, aun teniendo menos del 5 por 100 de arcilla, contiene, además, magnesia en proporción superior al 10 por 100 (dolomías). Al

añadirles agua forman una pasta gris poco trabada, que se entumece menos y desprende más calor que las cales grasas. Al secarse en el aire se reducen a polvo, y en el agua se deslíen y disuelven. Por estas malas cualidades no se usan en construcción.

1.8.2.2.3 Cales Hidráulicas

Proceden de la calcinación de calizas que contienen más del 5 por 100 de arcilla; dan un producto que reúne, además de las propiedades de las cales grasas, la de poderse endurecer y consolidar (fraguar) en sitios húmedos y debajo del agua.⁷

1.8.2.3 Fabricación

1.8.2.3.1 Extracción de la piedra

Se hace a cielo abierto o en galería, fragmentándola al tamaño de guijarros. En determinadas ocasiones se emplean conchas de las playas.

1.8.2.3.2 Calcinación

Se practica de distintas formas, según los medios y materiales de que se dispone.

La temperatura que hay que alcanzar es superior a 900° C. y es conveniente que las piedras no sean voluminosas ni pierdan el agua de cantera, e incluso humedecerlas, pues se acelera su descomposición. El carbónico debe eliminarse rápidamente del horno, con buen tiro o aspirándole, pues la reacción de descomposición es reversible:



Y se corre el peligro de que se carbonate la cal viva.

⁷OIZUS, Félix. Materiales de construcción, pp 140-143

- ✓ **Calcinación al aire libre con llama:** Rústicamente se hace practicando una excavación en la ladera de un monte o ribazo, o también dos perforaciones en ángulo recto. Se colocan las piedras mayores en forma de bóveda, para dejar el hogar, y el resto se llena con la piedra de menor tamaño. El combustible suele ser leña o ramas. Se prende fuego, y la operación se da por terminada cuando se produce un gran asiento en la masa incandescente, por la expulsión del carbónico y del agua, y desaparecer el color azulado de las llamas.

Este procedimiento tiene el inconveniente del desaprovechamiento del calor y desigualdad de la cocción, obteniéndose trozos demasiado cocidos y otros no llegan a hacerlo, constituyendo lo que se llama *huesos*, es decir, trozos de piedra caliza a medio calcinar.

- ✓ **Calcinación al aire libre por capas:** Se hace una excavación de un metro de profundidad en el suelo, en forma de tronco de cono invertido, de unos cinco metros de diámetro la base superior y un metro la inferior. Se practica también una zanja de 0,50 x 0,50m., que se llena de ramas y cubre con losas. Se ponen capas alternadas de carbón vegetal o hulla menuda y caliza fragmentada, de manera que las de carbón vayan disminuyendo de espesor de abajo arriba, y las de caliza, al revés. Se forma así un montón de unos tres metros de altura, de forma troncocónica, rematándose por un casquete esférico. Se cubre el montón así formado por una capa de arcilla, arena y paja, de unos seis centímetros de espesor, para evitar la pérdida de calor. Se prende fuego por la zanja, tapándola después. La calcinación dura una semana y, una vez enfriado el montón, se separa la cal viva de las cenizas.

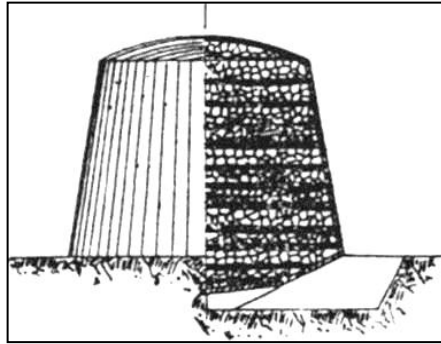


FIGURA 3: Calcinación al aire libre por capas

- ✓ **Calcinación en hornos intermitentes:** Son unas construcciones generalmente de ladrillo, en las que se consideran tres regiones: el hogar, el vientre y la chimenea o tragante. Tienen unos cinco metros de altura y sección circular, la horizontal y la vertical, en forma ovalada. Se forma una bóveda con las piedras más gruesas, en el hogar, y el resto se llena con piedra caliza triturada. El combustible suele ser la leña o turba, durante la calcinación de tres a cuatro días, según su capacidad. La calcinación se da por terminada cuando se produce un asiento en la masa de 1/5.

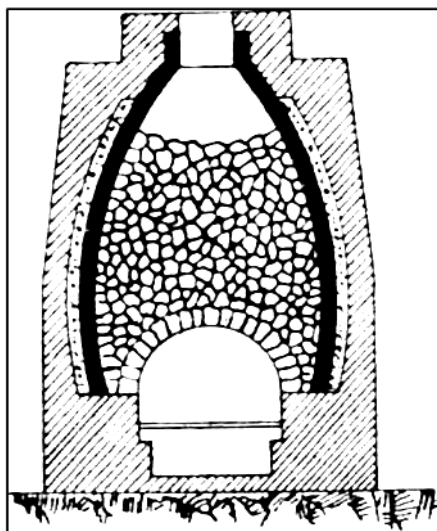


FIGURA 4: Calcinación en horno intermitente

- ✓ **Hornos continuos con llama:** Están formados por dos troncos de cono, unidos por sus bases mayores, de unos 10 metros de altura total. Existen tres hogares exteriores en la parte inferior. En la primera cochura hay que formar un hogar auxiliar en la parte baja del horno, análogo al explicado en los hornos intermitentes, con objeto de poder calcinar la caliza que está debajo de los conductores de los hogares laterales para la calcinación continua.

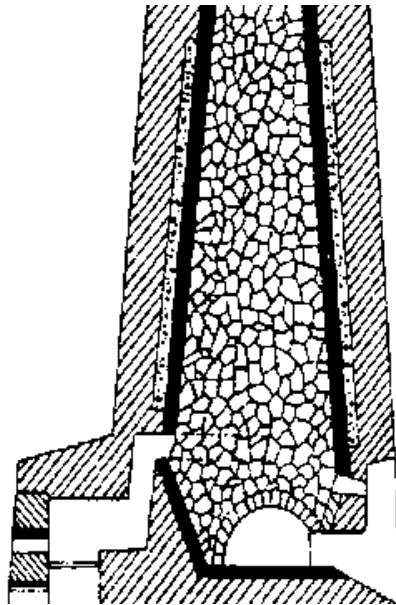


FIGURA 5: Hornos continuos

- ✓ **Hornos continuos por capas:** Formados también por dos troncos de cono, de palastro, revestidos interiormente con ladrillo refractario, análogos al descrito anteriormente. Se carga por el tragante con caliza machacada y hulla o antracita, por capas alternadas, descansando toda la masa sobre la parrilla del cenicero. Una vez lleno, se prende fuego por la parte inferior, propagándose a toda la masa. Las cenizas atraviesan la parrilla y se extraen por el cenicero, y la cal, por una puerta lateral situada sobre la parrilla. A medida que la cal viva descende,

se echan nuevas capas por el tragante, siendo, por lo tanto, la fabricación continua.

Cuando se desea obtener cal de gran pureza, se emplean los hornos rotatorios y los de gasógeno.⁸

✓ **Horno “LOS NEVADOS”**

El proceso de calcinación de la piedra caliza en la corporación “LOS NEVADOS” se la realiza en forma intermitente es decir por lotes, el combustible usado es el aceite residual de carros, este es suministrado desde un tanque de almacenamiento por medio de una bomba el cual llega hasta el horno y arde aumentando la temperatura al interior produciéndose la calcinación.

1.8.2.3.3 Extinción o apagado de la cal

Para poder emplear la cal viva hay necesidad de ponerla en contacto con el agua, para que se hidrate, y esta operación recibe el nombre de "apagado de la cal". Los procedimientos son los siguientes:

a) **Apagado espontáneo al aire:** Consiste en extender los terrones de cal viva sobre una superficie plana resguardada de la lluvia, exponiéndola a la acción del vapor de agua de la atmósfera para que le absorba. Esta transformación requiere unos tres meses y tiene el inconveniente de que absorbe también el anhídrido carbónico, carbonatándose en parte, por lo cual no da buenos resultados.

b) **Apagado por aspersion:** Se riega con una regadera o con un pulverizador la cal extendida sobre una superficie, en capas, con una cantidad aproximada del 25 al 50 por

⁸OIZUS, Félix. Materiales de construcción, pp 142,143

100 de agua. Si se recubren los montones de cal mojada con arena, se apaga lentamente fuera del contacto del aire, pudiéndose conservar en perfectas condiciones algún tiempo.

c) **Apagado por inmersión:** Fragmentados los terrenos de cal viva al tamaño de nueces, se colocan en cestos de mimbre o introducen durante un minuto en agua, hasta que se produzca un principio de efervescencia. Se sacan los cestos y se vierte el contenido en cajas o montones para que se reduzca a polvo.

d) **Apagado por fusión:** Este procedimiento es el que suele emplearse a pie de obra y, según la importancia de ésta, se hace en mayor o menor cantidad. Para pequeños volúmenes se introducen los terrones de cal viva en un cráter practicado sobre el montón de arena que ha de formar la argamasa y después se vierte unas tres veces su volumen de agua, para obtener pasta, y en mayor proporción si ha de ser lechada.

La cal en pasta se obtiene en albercas de madera, mampostería y, mejor, en pozas excavadas en el suelo, sin revestir, para que las paredes absorban el agua en exceso que disuelve las sales que puede llevar. La cantidad de agua empleada se determina empezando por un peso igual al de la cal y, revolviéndolo, se añade otra cantidad igual o mayor, que viene indicada, generalmente, por la aparición en la superficie de la pasta de grietas de un centímetro de ancho.

e) **Apagado en autoclaves:** Este procedimiento, muy empleado en Norteamérica, consiste en introducir la cal viva en terrones en unos grandes autoclaves, inyectando vapor de agua a presión, durante un tiempo que varía con su capacidad, permitiendo el apagado incluso de las calizas dolomíticas en poco tiempo. Se puede apreciar que por este procedimiento se obtiene una cal mucho más plástica que la que se

apaga a la presión atmosférica, lo que permite obtener enlucidos más fáciles de extender con la llana.

1.8.2.3.4 Conservación de las cales

La cal viva en terrones se coloca en una nave cubierta sobre un lecho de cal apagada, en polvo, de 20 cm. de espesor. Se cubre el montón también con la misma cal apagada y se comprime ligeramente. Así puede conservarse unos seis meses, pero se precisan varias horas para formar la pasta.

Apagadas en forma de polvo se pueden hacer en silos y almacenes a propósito, pero la mejor forma es en barriles, como las cales hidráulicas y cementos.

En pasta se hace en fosos impermeables practicados en el terreno y recubriendo la superficie con una capa de arena de 30 cm. de espesor. Así se pueden tener todo el tiempo que se desee.

Es muy conveniente, para obras de gran importancia, no emplear la cal recién extinguida, recomendándose una semana para los morteros de las obras corrientes de mampostería, y tres para los enlucidos.⁹

1.8.2.4 Cal hidráulica

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, con carácter hidráulico, los morteros a base de cal grasa y puzolanas.

⁹OIZUS, Félix. Materiales de construcción, pp 146

VICAT, a principios del siglo XIX, descubrió las cales hidráulicas al observar que, si la caliza primitiva contiene arcilla o se le añade artificialmente en la proporción del 8 al 20 por 100, 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 100 °C.; hacia los 700°C. empiezan a descomponerse los silicatos que forman las arcillas, y a los 900°C. se descompone el carbonato cálcico. A temperatura más elevada reaccionan los productos resultantes: óxido de cal CaO, anhídrido silícico SiO₂ y alúmina Al₂O₃, formándose silicatos y aluminatos, y junto con el hidróxido cálcico constituyen el aglomerante llamado cal hidráulica.

1.8.2.4.1 Índice hidráulico

El 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:

$$I = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

La relación inversa del índice hidráulico se llama módulo hidráulico:

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

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

Tabla 6: Índices 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 Débilmente hidráulica	0,10-0,16	5.3- 8.2	16-30	Días.
Cal medianamente hidráulica	0,16-0, 31	8,2-14,8	10-15	Días.
Cal propiamente hidráulica	0,31 -0,42	14,8-19,1	5- 9	Días.
Cal eminentemente hidráulica	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: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

1.8.2.4.2 Fabricación

1.8.2.4.2.1 Extracción de la piedra 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.

1.8.2.4.2.2 Cocción

Se emplean hornos de llama larga, pero casi siempre se hace en hornos por capas.

El de TEIL tiene forma ovalada, 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 obtener mejor cal.

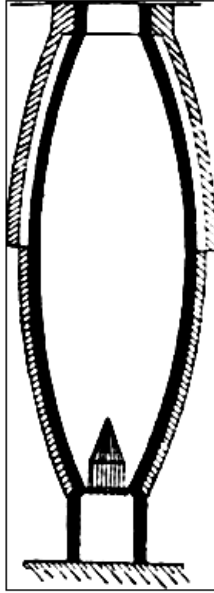


FIGURA 6: Horno de TEIL

Se utilizan también otros tipos de hornos, como los de gasógeno, con los que se obtienen mayores temperaturas y mejores productos al no mezclarse la cal con las cenizas del combustible.

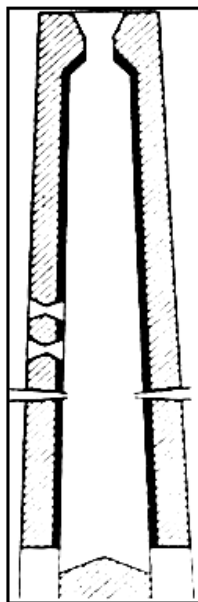


FIGURA 7: Hornos de Gasógeno

1.8.2.4.3 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 quizá la fase de más cuidado de la fabricación.

Se lleva a cabo por aspersión, regando con pulverizadores de agua fría o caliente la cal viva extendida sobre vagonetas de plataforma y amontonándole 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 grados centígrados necesarios para su hidratación. Si ésta se llegara a verificar, se obtendría un producto sin propiedades hidráulicas, recibiendo entonces el

nombre de cales ahogadas. Si, por el contrario, 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, constituidos por unos cilindros de palastro, rotatorios, de 15 m. de longitud y 2m. de diámetro, en los cuales se introduce por un extremo la cal viva recién obtenida, procedente del horno, llenándolos aproximadamente hasta su mitad, y mediante unos pulverizadores se riega con 10 por 100 de agua y produce la extinción o apagado.

1.8.2.4.3.1 Cernido (Tamizado)

Esta operación tiene por objeto separar la cal apagada de los trozos poco o muy cocidos y que no se han pulverizado durante la extinción. Primeramente se hace pasar la cal por unos cedazos 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 a razón de 80 revoluciones por minuto alrededor de un eje inclinado. La cal en polvo que pasa a través de las mallas recibe el nombre de *flor de cal*, envasándose en sacos o, mejor aún, en barriles.

Los residuos del cernido, unos son trozos de color amarillento, se llaman *incocidos*, 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, $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$, y tricálcico, $\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$.¹⁰

¹⁰OIZUS, Félix. Materiales de construcción

1.8.2.4.4 Propiedades de las cales hidráulicas

1.8.2.4.4.1 Composición Química

Varía según su hidráulica entre límites siguientes:

Tabla 7: Cal Hidráulica - Composición

Componente	Porcentaje
SiO ₂	15 – 26
CaO	51 – 66
Al ₂ O ₃	2 – 10
Fe ₂ O ₃	0,5 – 5

Fuente: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

Tabla 8: Composición media según LAFUMA

Componente	Porcentaje
CaO	59,5
SiO ₂	19,5
Al ₂ O ₃	4,4
Fe ₂ O ₃	1,3
MgO	1,5
SO ₃	0,6
Perdida al fuego	13,4

Fuente: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

1.8.2.4.4.2 Riesgos

- Ingestión: Peligroso, causa irritación, en grandes dosis puede ser fatal.
- Inhalación: Peligroso; causa irritación, bronquitis química o la muerte en casos de exposición a largo plazo.
- Piel: Irritación y posibles quemaduras.
- Ojos: Puede causar daños permanentes.

1.8.2.4.4.3 Propiedades físicas

- Estado de agregación: Sólido
- Apariencia: Blanco
- Densidad: 3300 kg/m³; 3,3 g/cm³
- Masa molar: 56,1 g/mol
- Punto de fusión: 3200 K (2927 °C)
- Punto de ebullición: 3773 K (3500 °C)

1.8.2.4.4.4 Propiedades Termodinámicas

Tabla 9: Propiedades termodinámicas

$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	43,93 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{líquido}}$	-557,33 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$	635,09 kJ/mol
$S^0_{\text{gas, 1 bar}}$	219,71 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
$S^0_{\text{líquido, 1 bar}}$	62,31 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
$S^0_{\text{sólido}}$	39,79 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹

Fuente: COLOMA ÁLVAREZ GUILLERMO. La Cal: ¡Es un reactivo químico!

Ya vimos que el tiempo de fraguado guarda una estrecha relación con el índice hidráulico de una cal, y que variaba, desde dos días, para las eminentemente hidráulicas, a treinta y seis días, para las débilmente hidráulicas, y recordamos que dicho índice es la relación en peso entre la sílice, la alúmina y hierro a la cal y la magnesia:

El color es tanto más oscuro cuanto mayor es el índice hidráulico.

Las alteraciones en el tiempo de fraguado y la elevación de la temperatura son indicios de que, habiendo absorbido la humedad, están pasadas o aireadas.

1.8.2.4.4.5 Densidad

Las cales débilmente hidráulicas tienen una densidad aparente comprendida entre 500 y 600; las medianamente hidráulicas, de 600-800 gr/l, y las eminentemente hidráulicas, de 800-900 gr. por litro. La densidad real varía de 2,7 a 2,9, según su índice hidráulico.

1.8.2.4.4.6 Finura

Dejan un residuo del 3 al 5 por 100 en tamiz de 900 mallas/cm², y de 20 a 25 por 100 en el de 4.900 mallas/cm²

1.8.2.4.4.7 Resistencias

El mortero 1:3, amasado con arena normal y conservado en agua, alcanza a los veintiocho días de 15 a 80 Kg/cm² a compresión según su hidraulicidad.

1.8.2.5 Características técnicas de las cales

Tabla 10: Según UNE 41.067-8

CLASE DE CAL	COMPOSICIÓN QUÍMICA			FINURA: residuo máximo sobre tamices		RESISTENCIAS A 28 DÍAS mortero 1:3	
	CaO+MgO Mínimo - %	CO ₂ Máx -	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ Mínimo - %	0,2 -	0,08 -	Flexo- tracción - Kg/cm ²	Compresión - Kg/cm ²
Cal aérea I	90	5	-	5	10	-	-
Cal aérea II	60	5	-	15	-	-	-
Cal hidráulica eminente I	-	5	20	3	-	25,0	80,0
Cal hidráulica normal II	-	5	15	10	-	12,5	40,0
Cal hidráulica mediana III	-	5	10	10	-	-	15,0

Fuente: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

1.8.2.5.1 Ensayos de las cales

Las normas UNE 41.067-8 prescriben los siguientes ensayos:

Toma de muestras.— Se hace sobre el 5 por 100 de los sacos, con un mínimo de tres sacos. No se tomará la muestra de la capa superior.

Expansión.— Con la aguja de LE CHATELIER será la separación inferior a 10 mm. para el ensayo en frío a los siete días o en caliente a las tres horas.

Finura.— Los residuos máximos sobre el tamiz de 0.2 mm. será de 3 por 100 para los eminentemente hidráulicos, y 10 por 100 para los normales y medianamente hidráulicos.

Resistencias mecánicas.— Se determinan con probetas prismáticos de 4 X 4 X 16 cm. de mortero 1: 3 a los veintiocho días, dando los valores siguientes: 80 Kg/cm² las cales hidráulicas eminentes: 40 las normales y 15 las medianamente hidráulicas.

Tabla 11: Límites de calidad de la cal hidratada Norma INEN

	Mínimo	Máximo
Óxidos de calcio y magnesio (CaO y MgO, calculados sobre la base no volátil) en %	65	75
Sílice (SiO ₂ , calculado sobre la base no volátil) en %	16	26
Oxidos de hierro y aluminio (Fe ₂ O ₃ y Al ₂ O ₃ , calculados sobre la base no volátil) en %	-----	12
Dioxido de carbono (CO ₂ calculado sobre la base como se recibe) en %	-----	8

Tabla 12: Límites de calidad de la cal viva Norma INEN

	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

1.8.3 Arena

Es el producto de la desagregación natural de las rocas, por procesos mecánicos o químicos y que, arrastradas por las aguas, se acumulan en lugares llamados arenales y playas. Están formados por un conjunto incoherente de granos de diversa forma o composición química y tamaño menor de 5 mm, y mayor de 0,02 mm.

Artificialmente se obtienen por machaqueo y molienda de las rocas duras.

1.8.3.1 Clasificación

Se clasifican por su composición y procedencia.

1.8.3.1.1 Composición mineralógica

Pueden ser silíceas o cuarzosas calizas, graníticas, arcillosas, feldespáticas, porfídicas, según sea el mineral que predomine; la sílice, el carbonato calcico y la arcilla, etc. Las mejores son las silíceas, por su dureza y estabilidad química. Las calizas, si son duras, son también buenas, rechazándose las blandas. Las graníticas, generalmente, son poco homogéneas y alterables, pudiéndose utilizar sí son bastante cuarzosas. Las arcillosas sólo pueden emplearse si la cantidad de arcilla es inferior al 3 por 100, por retrasar el fraguado y alterar plasticidad. La naturaleza geológica de las arenas influye poco en las resistencias de los morteros, siempre y cuando sean duras, no reaccionen desfavorablemente con el aglomerante, y la forma las afecta de una manera considerable.

1.8.3.1.2 Procedencia o yacimiento

Pueden ser de mina, río, playa, duna y artificiales. Las de mina son de granos angulosos y, generalmente, están sucias. Las de río tienen los granos redondeados, soliendo estar

lavadas y limpias. Las de playa deben ser lavadas con agua dulce. Las artificiales son de granos angulosos y superficie, rugosa.

Se aprecia la limpieza de una arena restregándola entre los dedos o vertiéndola en un vaso de agua, observando si los tiñe.

1.8.3.2 Tamaño de los granos

Según la clasificación de FERET, se llaman arenas gruesas cuando sus granos pasan por un tamiz de 5 mm, de diámetro y sean retenidas por otro de 2 mm.; medias, si pasan por el de 2 y son retenidas por el de 0,5 mm., y finas, las que pasan por el tamiz de 0,5 mm. de diámetro.

Las arenas de granos gruesos dan, por lo general, morteros más resistentes que las finas, teniendo el inconveniente las primeras de necesitar mucha pasta de aglomerante para rellenar sus huecos y ser adherentes, y las segundas, el precisar el mortero mucha agua para ser plásticas, resultando poroso, y se adhiere mal a las piedras.

1.8.3.3 Composición granulométrica

Es la proporción en que se encuentran los granos de distinto tamaño, expresándose en tanto por ciento. Se ha comprobado que tiene una gran influencia sobre la calidad de los morteros y hormigones, sobre la compacidad, impermeabilidad y resistencias mecánicas.

Mezclando arenas de granos con diversos tamaños se obtiene una arena con el mínimo de huecos, que necesitará menos cantidad de aglomerante y el mortero será más barato y compacto.

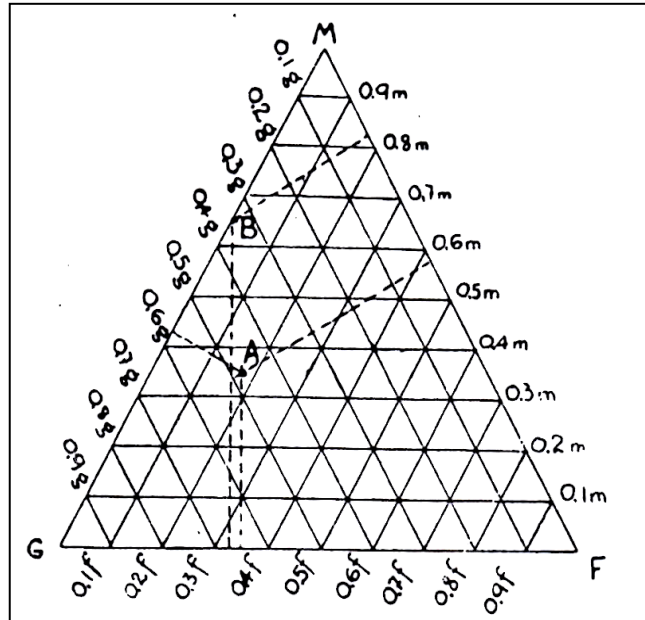


FIGURA 8: Tamaño de grano – Arena

Fuente: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

FERET llama G, M. y F a los granos gruesos, medios y finos, y la composición granulométrica de una arena la representan las proporciones relativas de G, M y F, expresadas en volumen o en peso; así una arena que tuviese el 50 por 100 de granos gruesos y 20 por 100 de finos, tendría la siguiente composición granulométrica:

$$G = 0,50 \quad M = 0,30 \quad F = 0,20$$

Hace una representación gráfica por medio de diagramas triangulares, a cuyos vértices llama G. M. y F.

La composición granulométrica de una arena se mide por un simple punto del triángulo y la proporción de cada grueso la expresa la distancia perpendicular del punto a cada

uno de los lados del triángulo. Los tres vértices de la figura corresponden a $G=1$; $M=0$; $F=0$.¹¹

Una arena representada por el punto A tendría la composición $G = 0,48$, $M = 0,35$, $F = 0,17$. La representada por el punto B sería $G = 0,33$ y $M = 0,67$, sin arena fina.

Se pueden representar por el mismo procedimiento las propiedades especiales de una arena, como el peso, volumen, huecos, etc., uniendo por una línea curva las distintas composiciones granulométricas que dan el mismo tanto por ciento de peso, volumen, etc. Así, una arena cuya composición granulométrica que esté marcada por la curva 0,575, significa que si se la mide mezclada tendría 57,5 de materia sólida, y por diferencia, 42,5 por 100 de huecos.

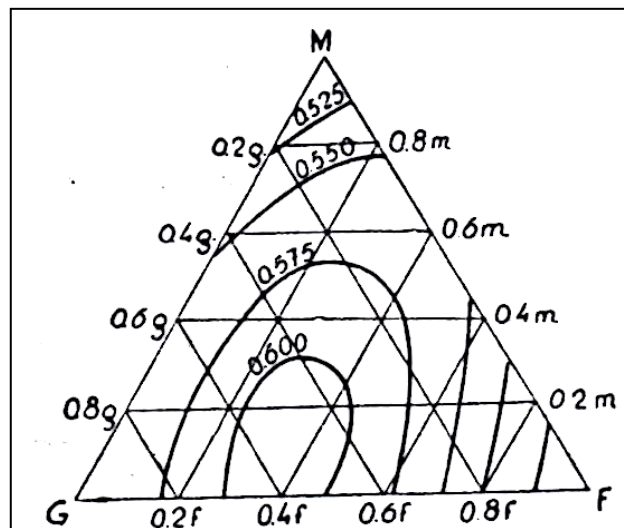


FIGURA 9: Granulometría

Fuente: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

¹¹OIZUS, Félix. Materiales de construcción

1.8.3.4 Forma de los granos

Pueden ser esféricos, elipsoidales, poliédricos, laminares y aguja. Influye mucho en las resistencias de los morteros. Las arenas de superficie áspera y angulosa se adhieren mejor, dejan más huecos y dan más resistencias que las lisas y redondeadas, necesitando más agua las primeras que las segundas para una determinada consistencia. Las de forma de agujas o lascas deberán ser rechazadas, por acunarse fácilmente y dejar muchos huecos.

1.8.3.5 Peso de las arenas

La densidad aparente de una arena varía poco con su calidad; oscila de 1,2 a 1,7 y promedio 1,4.

El peso específico o densidad real varía entre 2,5 y 2,7.

Las arenas húmedas, en igualdad de volumen aparente, pesan menos que las secas, debido a que se recubren de una película de agua y las hace ocupar mayor volumen, el 20 por 100, con un 6 por 100 de agua, y, por consiguiente, dejan mayor espacio de huecos.

El volumen de huecos de una arena natural oscila entre el 26 por 100 de mínimo para las arenas de granos iguales, y el 55 por 100 para las de granos finos.

Con granos esféricos gruesos iguales, apilados según un cuadrado, es decir, que cada esfera sea tocada por otras seis (fig. a), tiene un 47,6 por 100 de huecos. Si se apilan según un tetraedro, es decir, tocada por 12 esferas (fig. b), da un 26 por 100 de huecos. Si en esta posición se colocan granos finos (fig. c), tendremos una arena muy compacta que tendrá aproximadamente $\frac{3}{4}$ de granos gruesos y $\frac{1}{4}$ de finos, obteniéndose una

compacidad del 93 por 100 teóricamente, pues en la práctica no se alcanza más que del 50 al 70 por 100, y en los huecos de la arena es donde deberá alojarse el aglomerante.

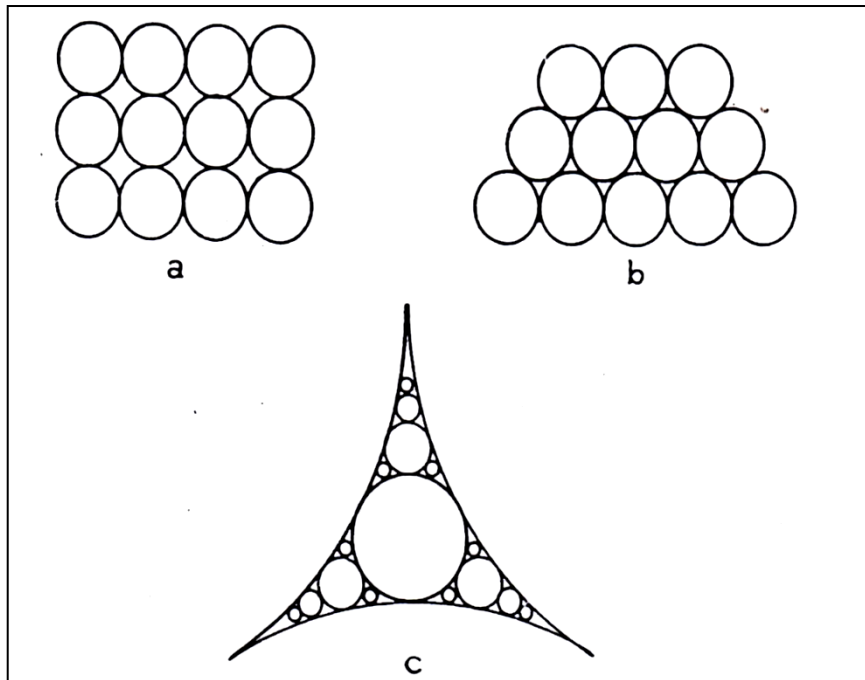


FIGURA 10: Forma de granos

Fuente: OIZUS, Félix. Materiales de construcción

Las arenas que contienen el mínimo de huecos, en la práctica son las que tienen $2/3$ de granos gruesos y $1/3$ de granos finos, careciendo de granos medios.

Se determina el volumen de huecos llenando un recipiente con arena sin comprimir y midiendo la cantidad de agua necesaria para colmar dicho recipiente. Con más exactitud se hace hallando su peso específico con un volumenómetro o simplemente con una probeta graduada en la que se vierte agua hasta una señal, vertiendo después con cuidado un peso dado en arena y viendo el volumen desplazado. Dividiendo el peso por el volumen, tenemos el peso específico.

1.8.3.6 Substancias nocivas

Se consideran perjudiciales, por retrasar el fraguado y debilitar las resistencias, las arcillas, limos, carbones, escorias y materia orgánica. Pueden admitirse y se consideran adheridas a la arena cuando su proporción sea inferior al 3 por 100 del peso del árido. Son también perjudiciales los carbones, sobre todo los lignitos, las escorias de altos hornos, los productos que contienen azufre, análogos a los residuos de calderas. Es también muy perjudicial la materia orgánica.

La determinación de la arcilla se hace por decantación, de la forma siguiente: se desecan a 110°C., hasta peso constante, 500 gramos de arena, y se colocan en una vasija de unos 22 cm. de diámetro y 10 cm. de profundidad. Se vierte agua hasta cubrir la arena, y se agita durante quince segundos y se deja sedimentar un tiempo igual. Se decanta con precaución, para no arrastrar arena, haciéndola pasar por un tamiz de 6.000 mallas/cm² y volviendo a la vasija el material retenido. Se repite la operación tantas veces como sea preciso hasta que el agua salga clara. Se deseca la muestra a 110° C. hasta obtener peso constante y se determina la proporción de arcilla dividiendo la diferencia de pesadas por el peso primitivo.

Por este procedimiento de decantación no se logra arrastrar la película de arcilla que recubre los granos de arena, y se puede hacer empleando una disolución de 0,05 por 100 de carbonato sódico anhidro.

Para morteros y revocos que no precisen grandes resistencias, la presencia de arcilla en pequeña proporción es favorable, por hacer las pastas más plásticas y manejables.

La determinación de la materia orgánica se hace por un procedimiento colorimétrico, que consiste en introducir en una probeta graduada, de 250 c.c. y provista de tapón, 100

c.c. de arena. Se vierte una disolución al 3 por 100 de sosa cáustica hasta que el volumen de la arena y la sosa sean de 150 c.c. Se tapa y agita vigorosamente, dejándole en reposo veinticuatro horas. Se compara el color que adquiere el líquido transparente con una disolución tipo, obtenida mezclando 97,5 c.c. de solución de sosa cáustica al 3 por 100 con 2,5 c.c. de solución de ácido tánico al 2 por 100 en 10 por 100 de alcohol, agitando y dejando reposar veinticuatro horas. La coloración de la arena ensayada debe ser más clara que la de la solución tipo.

Esta solución tipo tiene el inconveniente de tenerse que preparar cada vez que se haga el ensayo, por variar su coloración con el tiempo que se halla en reposo. Da la misma coloración y es más fácil de preparar una disolución tipo con dicromato potásico 1/10 normal.

Las arenas que no resistan este ensayo de coloración, si no hay más remedio que emplearlas, deberán hacerse ensayos previos para ver lo que perjudica a las resistencias.

1.8.3.7 Propiedades

- Impermeables.
- Incombustibles.
- Inoxidables.
- Imputrescibles.
- Resistentes a cambios bruscos de temperatura.
- Resistentes a agentes químicos.
- Fáciles de trabajar y rápidas de instalar.
- Aíslan ruidos del exterior.

1.8.3.8 Atributos físicos

El volumen de un grano de arena de cuarzo, de un diámetro de 0,06 mm (el límite inferior), es $2,51 \times 10^{-10} \text{ m}^3$ con una masa de $6,66 \times 10^{-4} \text{ g}$ (0,67 mg). En el límite superior, el volumen y la masa de un grano de arena con diámetro de 2,10 mm son $8,80 \times 10^{-9} \text{ m}^3$ y $2,33 \times 10^{-2} \text{ g}$ (23 mg).

1.8.4 Resina acrílica

1.8.4.1 Definición

- Se denomina **Resina Acrílica** a aquella de fácil utilización, tiempo de endurecimiento corto y contracción despreciable. Es un plástico muy resistente y con cualidades ópticas. La **Resina Acrílica** endurecida es termoplástica y resistente a los productos químicos. A partir de ella se obtienen el metacrilato así como también la Pintura Acrílica.
- Resina transparente que forma parte del grupo de resinas termoplásticas, que posee una excepcional tenacidad y resistencia a los agentes químicos, empleado como adhesivo o aglutinante, así como principal componente para calafatear y revestir.¹²

1.8.4.2 Características

- Cubre
- Protege
- Proporciona Brillo
- Agradable Fragancia

¹²www.construmatica.com/construpedia/Resina_Acrílica - España

1.8.4.3 Aplicaciones

- Madera

- Metal

- Cerámica

- Mímbre

- Papel

- Yeso

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Muestreo

El muestreo tiene por objeto la recolección de muestras de determinado lote de producción de cal y de los diferentes productos calcáreos que se usan en la construcción, agricultura, y en la industria química. Este procedimiento se realizó según la NORMA INEN 251. La recolección de muestras se realiza para su caracterización.

2.1.1 Localización de la investigación

El diseño del Proceso de Elaboración de Empaste para Interiores y Exteriores en el Uso de Polvo de Cal y Resina se realizó en la corporación “LOS NEVADOS”, ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo.

2.1.2 Alcance

Esta norma se aplica a cales y productos calcáreos para uso en construcción, agricultura e industria química.

Los procedimientos indicados a continuación no se consideran aplicables para el control de producción durante la fabricación del producto.

2.1.3 Terminología

Lote: Cantidad producida donde se recoge la muestra

2.2 Metodología

2.2.1 Métodos y técnicas

2.2.1.1 Métodos

2.2.1.1.1 Método Empírico

Permiten la obtención y elaboración de los datos empíricos y el conocimiento de los hechos fundamentales que caracterizan a los fenómenos y llevarlos a un nivel técnico.

Tabla 13: Métodos de Ensayos

Determinación	Método
% CaO	Espectrofotómetro Rayos X Volumétrico - Complexometrico
% MgO	Espectrofotómetro Rayos X Volumétrico - Complexometrico
%Al₂O₃	Espectrofotómetro Rayos X Volumétrico - Complexometrico
%Fe₂O₃	Espectrofotómetro Rayos X Volumétrico - Complexometrico
%CaCO₃	Volumétrico
Tamaño de partícula	Granulometría
Densidad Relativa	Le Chatelier
Densidad compactada	Físico
Consistencia	Físico

Fuente: Autor

2.2.1.1.1.1 Observación

Mediante la observación se recoge la información de cada uno de los conceptos o variables definidas en la hipótesis de trabajo, en el modelo. Cuando esto se cumple decimos que existe validez en la observación.

El documento guía de la observación debe ser lo suficientemente preciso y claro para garantizar que diferentes observadores al aplicar éste, en un momento dado, lo entiendan y apliquen de la misma manera. Cuando este requisito se cumple decimos que la observación es confiable.

En el presente trabajo de investigación se observó y visitó la instalación de producción de la corporación “LOS NEVADOS” ahí se pudo evidenciar la planta productora de cal hidratada etapa por etapa. Se pudo obtener datos de las variables definidas en el proceso productivo.

Esta visita tuvo como objetivo la interrelación entre los productores de cal y mi persona quien está a cargo de este trabajo de investigación. Este método de observación se realizó entre 4 y 5 veces aproximadamente, ya que se necesitaba tomar datos y además el respectivo muestreo de: Piedra caliza, cal viva, y cal hidratada.

2.2.1.1.1.2 Experimentos y ensayos.

Una vez caracterizada la materia prima: Cal y arena, en el caso del cemento no se lo realiza ya que este ya viene normalizado por la industria CEMENTO CHIMBORAZO C.A, por lo de la resina acrílica se necesita adquirirla o importarla.

Los experimentos y ensayos se realizaron en las industrias: CEMENTO CHIMBORAZO S.A y TUBASEC S.A.

Se comprueba los límites de calidad según las normas:

CAL HIDRATADA:

NORMA INEN 242: Determinación de consistencia.

NORMA INEN 243: Ensayo de cohesión.

NORMA INEN 244: Determinación del residuo.

NORMA INEN 246: Cal hidratada para construcción requisitos.

NORMA INEN 253: Determinación de la plasticidad

CALES:

NORMA INEN 249: Determinación de dióxido de carbono.

NORMA INEN 250: Determinación del óxido de calcio y del óxido magnesio.

NORMA INEN 251: Muestreo

NORMA INEN 245: Determinación del residuo (Cal viva)

NORMA INEN 254: Determinación del dióxido de silicio y óxidos de hierro y aluminio.

ARENA:

NORMA INEN 2536: Áridos para uso en morteros Requisitos.

Una vez verificados los resultados de laboratorio se procede a experimentar las proporciones que deben conformar el mortero, composición y caracterización final.

2.2.1.1.1.3 La medición

La observación fija la presencia de una determinada propiedad del objeto observado o una relación entre componentes, propiedades u otras cualidades de éste. Para la

expresión de sus resultados no son suficientes con los conceptos cualitativos y comparativos, sino que es necesaria la atribución de valores numéricos a dichas propiedades y relaciones para evaluarlas y representarlas adecuadamente.

El uso de conceptos comparativos puede servir de base para la introducción de conceptos cuantitativos, es decir, conceptos que designan la cualidad medida. El tránsito de los conceptos cualitativos a los comparativos y de estos a los cuantitativos se realiza solo mediante proposiciones teóricas.

La medición es el método que se desarrolla con el objetivo de obtener información numérica acerca de una propiedad o cualidad del objeto, proceso o fenómeno, donde se comparan magnitudes medibles y conocidas.

El valor numérico de una propiedad va a estar dada por la diferencia de valores entre las magnitudes comparadas. Se denominará medición al proceso de comparación de una propiedad con una magnitud homogénea tomada como unidad de comparación.

Ahora la medición empleada en este trabajo de investigación se va a realizar por medio de proporciones pesadas de las diferentes materias primas que van a conformar el mortero tanto para interiores como exteriores. Así también la producción total de mortero que se va a obtener a partir de la producción total de cal hidratada producida en la corporación “LOS NEVADOS”, es decir el rendimiento general de producción del nuevo producto.

Por último esta investigación a partir de los datos de producción total de mortero se va a diseñar el proceso productivo: capacidades de almacenamiento de materia prima (silos: cemento, cal, arena), Homogenizador o mezclador de los componentes, y pulverizador.

2.2.1.2 Técnicas

Es el conjunto de instrumentos y medios a través de los cual se efectúa el método y solo se aplica a una ciencia. La diferencia entre método y técnica es que el método se el conjunto de pasos y etapas que debe cumplir una investigación y este se aplica a varias ciencias mientras que técnica es el conjunto de instrumentos en el cual se efectúa el método.

Técnicas de Recolección de datos:

- Recopilación De La Información.
- La entrevista.
- Verificación y Caracterización actual de la Materia Prima (Cal).
- Revisión Bibliográfica.

Técnicas de Análisis de datos:

- Recolección de la Muestra.
- Ensayos de Laboratorio.
- Comparación de los Límites de calidad (INEN).
- Experimentación en las composiciones para el nuevo producto.

Técnicas de Aplicación:

- Proceso industrial del producto obtenido.
- Cálculos (Balances de masa).

2.2.1.2.1 Recopilación de la información

Los analistas utilizan una variable de métodos a fin de recopilar los datos sobre una situación existente de la corporación “LOS NEVADOS”, como entrevistas, cuestionario, inspección de registros, muestreo y observación. Cada uno tiene ventajas y

desventajas. Generalmente, se utilizan dos o tres para complementar el trabajo de cada una y ayudar a asegurar una investigación completa.

2.2.1.2.2 Entrevista

La entrevista es una técnica de recopilación de información mediante una conversación profesional, con la que además de adquirirse información acerca de lo que se investiga, tiene importancia desde el punto de vista educativo; los resultados a lograr en la misión dependen en gran medida del nivel de comunicación entre el investigador y los participantes en la misma.

Este tipo de técnica se aplicó durante el desarrollo de este trabajo de investigación por medio de un cuestionario previamente elaborado por parte del investigador preguntas tales como:

¿Cuál es la producción total de cal hidratada en su corporación?

¿De dónde proviene la piedra caliza necesaria para esta producción?

¿La demanda de sus productos cubre sus necesidades económicas?

¿Qué tipo de industrias adquieren su producto?

¿Cuál es la fecha de fundación de la corporación y con cuantos integrantes cuenta?

Durante la entrevista se realizan preguntas generales, para adquirir conocimientos que comúnmente son necesarios para empezar una investigación. Esta entrevista se la realizó a los dirigentes máximos de esta corporación.

El éxito que se logre en la entrevista depende en gran medida del nivel de comunicación que alcance el investigador con el entrevistado; la preparación que tenga el investigador en cuanto a las preguntas que debe realizar; la estructuración de las mismas; las

condiciones psicológicas del investigado; la fidelidad a la hora de transcribir las respuestas y el nivel de confianza que tenga el entrevistado sobre la no filtración en la información que él está brindando; así como la no influencia del investigador en las respuestas que ofrece el entrevistado.

La entrevista es una técnica que puede ser aplicada a todo tipo de persona, aún cuando tenga algún tipo de limitación como es el caso de analfabetos, limitación física y orgánica, niños que posean alguna dificultad que le imposibilite dar respuesta escrita.

2.2.1.2.3 Análisis de laboratorio

Las muestras recolectadas en la corporación “LOS NEVADOS” son transportadas de acuerdo a la NORMA INEN 251 hacia el laboratorio de la industria CEMENTO CHIMBORAZO C.A donde se realizara su respectiva caracterización.

2.2.1.2.3.1 Verificación y caracterización de la materia prima

2.2.1.2.3.1.1 Método por RAYOS X - Cristalográfico

Las muestras que se encuentran en envases herméticos debidamente sellados y codificados tres de cada lote pasaran por las siguientes etapas:

- **Piedras calizas SHOBOLT Y GANQUIS**

1. Trituración de las piedras calizas por medio de un equipo: Trituradora MASSCO CRUSHER, con la cual se consigue una homogenización de partículas que en promedio tienen una longitud de 1 a 2 centímetros.
2. Se procede a secar en un plato térmico con control remoto tipo 2200 a una temperatura aproximada a 500 grados centígrados.

3. Se deja enfriar por 5 minutos posteriormente se pulveriza e por medio de un pulverizador Bico Braun UA tiene la capacidad de 1 lb/minuto se obtiene en polvo la muestra.
4. Se almacena la muestra con su respectiva codificación y queda lista para el análisis.
5. El siguiente paso consiste en formar una compacta pastilla por medio de una prensadora en moldes circulares.
6. Por último se analiza en un equipo de rayos X Siemens SRS 3000, el cual nos proporciona las características importantes de cada muestra.

○ **Cal Viva Molida**

1. Inicialmente procede a secar en un plato térmico con control remoto tipo 2200 a una temperatura aproximada a 500 grados centígrados.
2. Se deja enfriar por 5 minutos posteriormente se pulveriza e por medio de un pulverizador Bico Braun UA tiene la capacidad de 1 lb/minuto se obtiene en polvo la muestra.
3. Posteriormente se almacena la muestra con su respectiva codificación y queda lista para el análisis.
4. El siguiente paso consiste en formar una compacta pastilla por medio de una prensadora en moldes circulares.
5. Por último se analiza en un equipo de rayos X Siemens SRS 3000, el cual nos proporciona las características importantes de cada muestra.

- **Cal Viva sin moler**

1. Trituración de las piedras calizas por medio de un equipo: Trituradora MASSCO CRUSHER, con la cual se consigue una homogenización de partículas que en promedio tienen una longitud de 1 a 2 centímetros.
2. En esta paso se procede a secar en un plato térmico con control remoto tipo 2200 a una temperatura aproximada a 500 grados centígrados.
3. Se deja enfriar por 5 minutos posteriormente se pulveriza e por medio de un pulverizador Bico Braun UA tiene la capacidad de 1 lb/minuto se obtiene en polvo la muestra.
4. Posteriormente se almacena la muestra con su respectiva codificación y queda lista para el análisis.
5. El siguiente paso consiste en formar una compacta pastilla por medio de una prensadora en moldes circulares.
6. Por último se analiza en un equipo de rayos X Siemens SRS 3000, el cual nos proporciona las características importantes de cada muestra.

- **Cal Hidratada Tamizada y sin tamizar**

1. Se procede a secar en un plato térmico con control remoto tipo 2200 a una temperatura aproximada a 500 grados centígrados.
2. Se deja enfriar por 5 minutos posteriormente se pulveriza e por medio de un pulverizador Bico Braun UA tiene la capacidad de 1 lb/minuto se obtiene en polvo la muestra.
3. Posteriormente se almacena la muestra con su respectiva codificación y queda lista para el análisis.

4. El siguiente paso consiste en formar una compacta pastilla por medio de una prensadora en moldes circulares.
5. Finalmente se analiza en un equipo de rayos X Siemens SRS 3000, el cual nos proporciona las características importantes de cada muestra.

2.2.1.2.3.1.2 Análisis gravimétrico y complexométrico

Equipo y materiales

- 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
- Acido acético concentrado
- Ácido calconcarboxílico (indicador)
- Acido clorhídrico concentrado
- Ácido sulfosalísilico (indicador)

- Amoníaco concentrado
- Complexon iii (titriplex iii, edta)
- Hidróxido de potasio
- Pirilidazo-2-naftol (pan indicador)
- Sulfato de cobre ($\text{CuSO}_{4.5}\text{H}_2\text{O}$)
- Trietanolamina

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 Na_2CO_3 + $0,5\ \text{g}$ de K_2CO_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 AgNO_3

➤ **Residuo: determinación de sílice**

1. Colocar en un crisol de platino (tarado y pesado)
2. 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
3. Calcinar por 30 minutos en una mufla a $1\ 000^\circ\text{C}$
4. Enfriar en el desecador y pesar

Cálculo

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

Determinación 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 ml

➤ **Determinación de óxido de hierro Fe₂O₃ - Método complexométrico**

- 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).

Cálculo

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

➤ **Determinación de óxido de aluminio Al₂O₃- Método complexométrico**

- 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 (CuSO₄.5H₂O) 0.05 M hasta cambio de coloración de amarillo a azul intenso.

Cálculo

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

➤ **Determinación de óxido de calcio CaO - Método complexométrico**

- 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.

Cálculo

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

➤ **Determinación de óxido de magnesio MgO - Método complexométrico**

- 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.

Cálculo

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

SOLUCIONES PARA COMPLEXOMETRÍA

✓ SULFATO DE COBRE 0.05 M ($\text{CuSO}_{4,5}\text{H}_2\text{O}$)

Disolver 12,48 g de $\text{CuSO}_{4,5}\text{H}_2\text{O}$ en 1 000 ml de agua destilada.

CONTROL

1. Tomar 10 ml de solución de EDTA 0.05 M preparada.
2. Arreglar pH 3 con acetato de amonio.
3. Agregar 10 gotas de PAN indicador.
4. Titular con solución preparada ($\text{CuSO}_{4,5}\text{H}_2\text{O}$ 0.05M) hasta cambio de coloración (violáceo).

Cálculo

$$f(\text{CuSO}_{4,5}\text{H}_2\text{O}) = (10 \text{ ml} * f \text{ EDTA}) / \text{ml consumidos}$$

✓ SOLUCION DE EDTA 0.05 M (TITRIPLEX)

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

CONTROL

1. Pesar 0,100 g de CaCO_3 (previamente desecado).
2. Disolver con 15 ml de HCl 1:1.
3. Agregar agua destilada hasta 50 ml.
4. Llevar a ebullición hasta decarbonatación.
5. Adicionar 20 ml de KOH al 20%.
6. Adicionar pocos mg de calceína diluido.

7. Titular con la solución preparada (compleción III 0.05 M) hasta cambio de coloración de violeta a azul.

Cálculo

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

✓ **BUFFER DE ACETATO DE AMONIO**

Disolver 60 g de acetato de amonio en 540 ml de Acido Acético y diluir con agua destilada a 1 000 ml.

✓ **BUFFER DE CLORURO DE AMONIO**

Disolver 70 g de cloruro de amonio en 570 ml de Hidróxido de Amonio concentrado y diluir con agua destilada a 1 000 ml.

✓ **ACIDO ACETICO 1:1**

A 500 ml de agua destilada, agregamos 500 ml de ácido acético concentrado y agitamos hasta dilución total

✓ **HIDROXIDO DE POTASIO AL 20%**

Disolver 200 g de hidróxido de potasio analítico en 1 000 ml de agua destilada

✓ **ACIDO CALCONCARBOXILICO**

1 g de ácido calconcarboxílico mezclar con 100 g de NaCl

✓ **SOLUCION DE TRIETANOLAMINA**

Solución de 20% en agua destilada

INDICADORES

✓ **PAN INDICADOR SOLUCION**

Disolver 0,1 g de PAN en 100 ml de etanol

✓ **ROJO DE METILO**

Disolver 0,1 g de rojo de metilo en 100 ml de etanol

2.2.1.2.3.1.3 Determinación de la pérdida por calcinación

Objetivo

- ✓ Determinar la cantidad de material volátil que se encuentra en una muestra, específicamente CO₂ y H₂O.

Equipos y materiales

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

Procedimiento

1. Pesar 1 g de muestra sobre el crisol tarado y pesado.
2. Calcinar por treinta minutos en la mufla a 1 000 °C.
3. Sacar, dejar enfriar el crisol en el desecador por 20 minutos.
4. Pesar el crisol.

5. Calcular el porcentaje de pérdida por calcinación.

Cálculo

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

Acciones preventivas

- Preparar y verificar los reactivos a ser utilizados.
- Calibración correcta de los equipos a utilizar.
- Limpieza correcta de los materiales y del sitio de trabajo.
- Cumplimiento estricto de las técnicas a ser utilizadas.

Acciones correctivas

- Si el porcentaje de la pérdida por calcinación no cumple con la norma, se revisará las condiciones de trabajo del horno y del molino, así como los procedimientos utilizados en la marcha analítica.

2.2.1.2.3.1.4 Determinación de carbonato de calcio total

Objetivo

Determinar la cantidad de carbonato de calcio (CaCO_3) que se encuentran presentes en la piedra caliza.

Alcance

Este método es aplicable a caliza proveniente de las minas, cales vivas e hidratadas.

Equipos y materiales

- Buretas de 50 mL de volumen
- Erlenmeyer de 250 mL

- Balanza analítica
- Reverbero eléctrico
- Espátula de metal

Reactivos y sustancias

- Agua destilada
- HCl 1 N
- NaOH 0.5 N
- Fenolftaleína (Indicador)

Procedimiento

1. Tomar una muestra representativa, secar, triturar y pulverizar
2. Pesar 1g de muestra y colocar en un erlenmeyer de 250 ml de capacidad
3. Adicionar 20 ml de HCl 1N, lavar las paredes ligeramente con agua destilada y llevar a ebullición hasta que se haya desprendido totalmente el CO₂ de la reacción producida.
4. Sacar y lavar con agua destilada las paredes del recipiente y adicionar 3 a 5 gotas de indicador de fenolftaleína.
5. Titular con NaOH 0.5 N hasta observar el cambio de coloración de incoloro a rosa pálido (punto de equivalencia).
6. Observar y anotar los resultados.

Reacciones



Incoloro

rosa-pálido

Cálculos

ml gastados de NaOH = % de CaCO₃ (datos tabulados, tabla)

Aplicando la fórmula tenemos:

$$V1 * C1 = V2 * C2$$

Acciones preventivas

- Preparar y verificar los reactivos a ser utilizados.
- Calibración correcta de los equipos a ser utilizados.
- Limpieza correcta de los materiales y del sitio de trabajo.
- Cumplimiento estricto de las técnicas a ser utilizadas.

Acciones correctivas

- Si el porcentaje de Carbonato de Calcio está fuera de los parámetros establecidos por las normas internas, se dará las respectivas órdenes para realizar los cambios necesarios.

2.2.1.2.3.1.5 Análisis Físico – Tamizado

Objetivo

Determinar el tamaño de grano de cualquier tipo de muestra y poderlos clasificar.

Alcance

Este método es aplicable a cualquier tipo de material pulverizado en este caso: caliza proveniente de las minas, cales vivas e hidratadas y producto final. (Empaste).

Procedimiento

1. Tomar una muestra representativa, secar, triturar y pulverizar
2. Pesar 100g de muestra y colocar en el Tamizador.
3. Accionar el equipo tomando el tiempo de tamizado en cada plato de 5 minutos.
4. Tomar el plato y pesar el retenido. Realizar repetidamente.
5. Calcular los porcentajes de muestra retenida, pasante y acumulada.

2.2.1.2.3.1.6 Determinación de la consistencia normal de la pasta de cal

Alcance

A fin de medir ciertas propiedades físicas en la pasta de cal, tales como la plasticidad, es necesario contar con una consistencia uniforme o normalizada (viscosidad), puesto que el nivel de consistencia afecta la medición de esta propiedad.

Descriptor: Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, cal viva, cal hidratada, caliza, ensayo.

Equipo

a) *Aparato de Vicat modificado*. El aparato construido de la manera como se muestra en la figura debe consistir de un soporte, A, una varilla acoplada, B, móvil, de bronce, de 6,3 mm de diámetro y longitud suficiente para alcanzar la base del aparato de Vicat. En la parte inferior de la varilla debe tener una sonda, C, de 12,5 mm de diámetro, fabricada de tubo de aluminio. La masa total de la varilla con la sonda debe ser de 30 g. La parte inferior de la sonda debe ser cerrada, sin hombros o curvaturas y el tubo puede ser relleno con perdigones hasta alcanzar la masa especificada. Se puede obtener también la masa total requerida por medio de una masa, D, atornillada a la varilla. La varilla puede ser ubicada en cualquier posición por medio de un tornillo, E, y debe tener

una marca intermedia entre los bordes, que se desplaza en una escala, F, graduada en milímetros, que está acoplada al soporte, A.

b) *Molde*. El molde tronco-cónico debe ser fabricado de un material resistente a la corrosión y no absorbente, debe tener un diámetro interior de 70 mm en la base y 60 mm en el borde superior, con una altura de 40 mm.

c) *Placa base*. La placa base para soportar molde cónico debe ser una placa de vidrio cuadrada de aproximadamente 100 mm de lado.

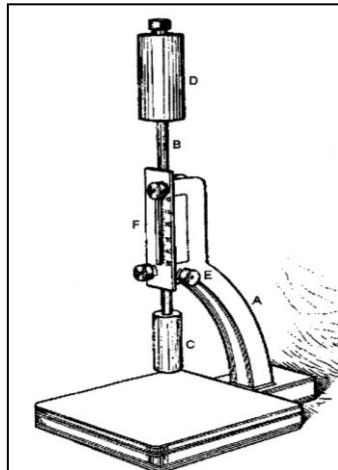


FIGURA 11: Aparato de VICAT

d) *Mezcladora mecánica*.

Determinación de la consistencia normal:

a) **Procedimiento de mezclado mecánico utilizando una mezcladora que trabaje al vacío.** Añadir 300g de cal hidratada a una cantidad medida de agua, contenida dentro del tazón de mezclado con capacidad de 800 cm³ y mezclar manualmente por 10 s con una espátula rígida. Cubrir la pasta para evitar la evaporación del agua. Después del período de absorción aplicable, máximo 30 minutos para cal hidratada especial tipo S y no menos de 16 h ni más de 24 h para cal hidratada normal tipo N, insertar la paleta en el

equipo y mezclar la pasta por 30 s con la mezcladora mecánica. Retirar la paleta y raspar cualquier resto de pasta adherida en ella y en las paredes del recipiente. Remezclar por 30 s y determinar la consistencia como se indica en el literal B. 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.

b) Determinación de la consistencia. Para determinar la consistencia, colocar el molde con su base mayor descansando sobre la placa base de vidrio y llenarlo con pasta de cal. Luego enrazar la pasta nivelándola con el borde superior del molde. Centrar el molde con la pasta de cal que descansa sobre la placa de vidrio, bajo la varilla del aparato modificado de Vicat. Colocar la parte inferior de la sonda, C, en contacto con la superficie de la pasta de cal y tomar la lectura inicial. Liberar la varilla y registrar la lectura final 30 segundos después de que la sonda fue liberada. La pasta de cal está con consistencia normal cuando se obtiene una penetración de $20 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. Registrar la penetración real obtenida y la cantidad total de agua necesaria para que la pasta de cal alcance la consistencia normal. Continuar con la determinación de la plasticidad.

2.2.1.2.3.1.7 Determinación de la densidad relativa (gravedad específica).

Alcance

- a. Este método de ensayo contempla dos métodos para la determinación de la densidad relativa (gravedad específica) de la cal hidratada.
- b. La densidad relativa (gravedad específica) de la cal hidratada es adimensional.

Método del frasco de Le Chatelier

- a. El frasco normalizado, que es de sección transversal circular, cuya forma y dimensiones cumplen con la NTE INEN 156. Se debe observar rígidamente los

requisitos en relación a la tolerancia sobre la inscripción, longitud, espaciamento y uniformidad de la graduación. Debe existir un espacio de al menos 10 mm entre la marca de graduación más alta y el punto más bajo del esmerilado del tapón de vidrio.

- b. El material de construcción debe ser un vidrio de la mejor calidad, transparente y libre de estrias. El vidrio debe ser químicamente resistente y tener pequeña histéresis térmica. Los frascos deben ser cuidadosamente anillados antes de ser graduados. Deben ser de un espesor suficiente para garantizar una resistencia razonable a la rotura.
- c. El cuello debe ser graduado desde 0 cm³ a 1 cm³ y de 18 cm³ a 24 cm³, en graduaciones de 0,1 cm³. El error de cualquier capacidad indicada no puede ser superior a 0,05 cm³.
- d. Cada frasco debe llevar un número de identificación permanente y un tapón, si no son intercambiables, deben llevar el mismo número. Partes de vidrio esmerilado intercambiables se deben marcar en ambos miembros con un símbolo ahusado seguido por la designación del tamaño. Se debe indicar la temperatura normalizada y la unidad de capacidad debe ser indicada con las letras "mL" colocada sobre la marca más alta graduación.

Reactivos

a) Alcohol etílico (absoluto). Libre de agua, debe ser utilizado en la determinación de la densidad. El etanol utilizado no debe haber sido desnaturalizado con metanol.

Procedimiento

1. Determinar la gravedad específica de la cal hidratada, en el material como se recibe, a menos que se especifique de otra manera.
2. Llenar el matraz con alcohol etílico desnaturalizado hasta el punto en el cuello situado entre las marcas 0 cm^3 y 1 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 frasco en un baño de agua.
3. Introducir aproximadamente 50 g de cal hidratada, pesada con una aproximación de 0,05 g, en pequeños incrementos a la misma temperatura que el líquido. Evitar salpicaduras y observar que la cal hidratada no se adhiera al interior del frasco sobre el líquido. Se puede utilizar un aparato de vibración para acelerar la introducción de la cal hidratada en el frasco y para evitar que la cal se pegue en el cuello. Después de que se ha introducido toda la cal hidrata, colocar el tapón en el frasco y rodar el frasco en una posición inclinada o girar suavemente describiendo un círculo horizontal para liberar el aire de la cal hasta que no haya burbujas de aire subiendo a la superficie del líquido. Si se añade una cantidad adecuada de cal hidratada, el nivel del líquido debe estar en su posición final en algún punto en la serie superior de graduaciones. Tomar la lectura final después de sumergir el frasco en el baño de agua.
4. Sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura constante durante períodos de tiempo suficientes para evitar que las variaciones de temperatura sean superiores a $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ lecturas inicial y final.

Cálculos

La diferencia entre la primera lectura y la final representa el volumen de líquido desplazado en masa de cal hidratada utilizada en el ensayo.

Calcular la densidad de la cal hidratada, P, de la siguiente manera:

$$P \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{masa de la cal hidratada (g)}}{\text{volumen desplazado (cm}^3\text{)}}$$

2.2.1.2.3.1.8 Determinación de la densidad compactada aparente

Alcance

Este método de ensayo determina la densidad compactada o consolidada hidratada, cal viva pulverizada y caliza. Está orientado para determinar el volumen mínimo por una masa dada de estos materiales.

Equipos

- a. Probeta graduada. De 100 cm³ de capacidad.
- b. Balanza. Con una precisión de 0,1 g.

Procedimiento:

1. Pesar 25 g de muestra de material en polvo, con una aproximación de 0,1 g y trasladar a una probeta graduada.
2. Dejar sedimentar el polvo, golpeando suavemente la probeta sobre una si amortiguamiento, para que la compactación se realice sin esponjamiento.
3. Registrar el volumen de la cal después de cada 100 golpes y continuar golpeando cambio de volumen compactado sea inferior a 0,5 cm³/100 golpes.
4. Calcular la densidad en gramos por centímetro cúbico.

Cálculos:

Calcular la densidad compactada, de la siguiente manera:

$$D = \frac{M}{V}$$

Donde:

D = densidad compactada, (g/ cm³)

M = Masa de la muestra, g, y

V = Volumen final de la muestra, cm³.

2.3 Datos experimentales**2.3.1 Diagnóstico****2.3.1.1 Descripción del proceso de producción la planta de cal hidratada**

Actualmente, la planta calera del Pacífico produce 5 Tm/día de cal hidratada, la materia prima para la producción y abastecimiento se la extrae de minas ubicadas en la parroquia de San Juan; piedras calizas; Ganquis y Shobol, estas son transportadas y depositadas a la intemperie ya en las instalaciones de la planta, estas son tratadas manualmente por medio de los obreros tratando de disminuir el diámetro y conseguir uniformidad para posteriormente descargarlas en el horno que utiliza como combustible aceite residual, aquí se alcanza una temperatura promedio de 1100 °C cuando la óptima debe ser 900±10 °C. Este proceso es intermitente. Al culminar la cocción se procede a el enfriamiento de la piedra calcinada o cal viva, se la almacena y seguidamente se realiza su hidratación al 30% con la adición de agua produciéndose la reacción exotérmica y por ende la obtención de la cal hidratada (Ca(OH)₂), esta se procesa obviamente después de su estabilización y enfriamiento por molienda y tamizado o no dependiendo

del tipo de producto y demanda que se requiera. Por último es empacado y distribuido. Esta producción se la realiza de forma más artesanal que técnica. La presente investigación está destinada al diseño de otro derivado de la cal hidratada que es el Empaste para paredes.

2.3.2 Datos

Tabla 14: Temperatura en el horno

TEMPERATURA	PRESIÓN
[°C]	[mm Hg]
200	7,8E-09
400	3,00E-04
500	0,15
600	2,98
700	31,2
800	208
882	760
900	784

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

Tabla 15: Granulometría CAL VIVA

µm	Nº 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				

Tabla 16: Granulometría EMPASTE COMERCIAL

μm	N° de Tamiz	Peso retenido/tamiz (g)	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Pasa/tamiz	% Acumulado Pasa
250	60	0,02	0,02	34,03	99,98	65,97
212	70	0,02	0,02	0,04	99,98	99,96
150	100	0,05	0,05	0,09	99,96	99,91
75	200	1,58	1,59	1,67	98,42	98,33
63	230	2,31	2,31	3,98	97,69	96,02
53	270	4,18	4,19	8,17	95,82	91,83
45	325	38,52	38,59	46,76	61,48	53,24
25,4	500	52,82	52,91	52,91	47,18	47,09
Residuo		0,33	0,33	100,00	99,67	0,00
Sumatoria		99,82				

Tabla 17: Granulometría ARENA MOLIDA (1h)

μm	N° de Tami z	Peso retenido/tamiz (g)	% Retenido	% Acumulado Retenido	% Pasa/tamiz	% Acumulado Pasa
250	60	0,02	0,02	34,03	99,98	65,97
212	70	0,03	0,03	0,05	99,97	99,95
150	100	0,05	0,05	0,10	99,96	99,90
75	200	1,73	1,73	1,83	98,27	98,17
63	230	2,10	2,10	3,94	97,90	96,06
53	270	3,18	3,19	7,12	96,82	92,88
45	325	55,52	55,65	62,77	44,48	37,23
25,4	500	36,82	36,90	36,90	63,18	63,10
Residuo		0,33	0,33	100,00	99,67	0,00
Sumatoria		99,77				

ANÁLISIS QUÍMICOS**Tabla 18: Carbonatos Totales PIEDRA CALIZA**

Muestra	Vol. NaOH (ml)	% CaCO ₃
Piedra Caliza Ganquis 1	6,50	83,75
Piedra Caliza Ganquis 2	5,10	87,25
Piedra Caliza Ganquis 3	3,10	92,25
Piedra Caliza Shoobol 1	0,90	97,75
Piedra Caliza Shoobol 2	3,00	92,50
Piedra Caliza Shoobol 3	1,80	95,50

Tabla 19: Análisis Complexométrico: % SiO₂

Muestra	Peso crisol vacío	Peso crisol + Precipitado Calcinada	% SiO₂
Shobol	19,9398	19,9904	5,06
Ganquis	19,9382	20,0411	10,29
Cal Viva	19,9378	20,161	22,32
Cal hidratada Molida	18,7081	18,8497	14,16
Cal hidratada Molida y Tamizada	19,9388	20,078	13,92

Tabla 20: Perdidas por Calcinación

Muestra	Peso crisol vacío (g)	Peso muestra (g)	Peso crisol + muestra calcinada (g)	% (CO₂ y H₂O)
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
Shoobol 1	18,2588	1,00	18,8421	41,6700
Shoobol 2	18,0575	1,00	18,6278	42,9700
Shoobol 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) ₂ molida y tamizada 1	18,2523	1,00	19,0445	20,7800
Ca(OH) ₂ molida y tamizada 2	17,4687	1,00	18,2598	20,8900
Ca(OH) ₂ molida y tamizada 3	17,8986	1,00	18,6877	21,0900
Ca(OH) ₂ molida 1	18,0558	1,00	18,8687	18,7100
Ca(OH) ₂ molida 2	15,9420	1,00	16,7556	18,6400
Ca(OH) ₂ molida 3	19,8878	1,00	20,6977	19,0100

Tabla 21: Análisis Complexométrico: % Fe₂O₃

Muestra	Volumen EDTA 0,05M (ml)	Factor EDTA	% Fe ₂ O ₃
Shoobol	0,4	1	0,7984
Ganquis	0,8	1	1,5968
Cal Viva	0,7	1	1,3972
Cal hidratada Molida	0,7	1	1,3972
Cal hidratada Molida y Tamizada	0,9	1	1,7964

Tabla 22: Análisis Complexométrico: % Al₂O₃

Muestra	Volumen EDTA 0,05M (ml)	Volumen CuSO ₄ 0,05M (ml)	% Al ₂ O ₃
Shoobol	0,4	10,50	1,74
Ganquis	0,8	10,00	1,73
Cal Viva	0,7	10,10	1,7575
Cal hidratada Molida	0,7	10,20	1,6575
Cal hidratada Molida y Tamizada	0,9	10,30	1,3025

Tabla 23: Análisis Complexométrico: % CaO

Muestra	% CaCO ₃	% CaO
Shoobol	97,8	54,78
Ganquis	83,8	46,93
Cal Viva	99,0	55,48
Cal hidratada Molida	99,3	55,62
Cal hidratada Molida y Tamizada	98,5	55,20

Tabla 24: Composición Química por Espectrofotómetro de rayos X

MUESTRA	SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO₃ (%)	Na₂O (%)	K₂O (%)	CO₂ (%)	Sum (%)
EMPASTE INDUSTRIAL	1,27	0,31	0,32	55,35	0,25	0,06	0,18	0,03	42,23	100,00
CAL VIVA SIN TAMIZAR	8,03	0,67	0,81	56,28	1,60	0,28	0,20	0,02	32,11	100,00
CAL VIVA MOLIDA	7,94	0,67	0,81	56,19	1,59	0,27	0,21	0,02	32,30	100,00
CAL HIDRATADA SIN TAMIZAR 3	6,45	0,68	0,99	56,78	0,51	0,27	0,22	0,02	34,09	100,00
CAL HIDRATADA SIN TAMIZAR 2	6,57	0,74	0,97	56,18	0,52	0,26	0,23	0,02	34,51	100,00
CAL HIDRATADA SIN TAMIZAR 1	5,21	0,53	0,86	58,89	0,61	0,28	0,21	0,01	33,40	100,00
CAL HIDRATADA TAMIZADA 3	5,69	0,53	0,81	59,41	0,97	0,27	0,20	0,01	32,11	100,00
CAL HIDRATADA TAMIZADA 2	5,53	0,44	0,75	57,86	0,82	0,27	0,19	0,01	34,13	100,00
CAL HIDRATADA TAMIZADA 1	5,41	0,45	0,80	58,21	0,79	0,27	0,20	0,01	33,86	100,00
CAL VIVA 3	9,47	0,71	1,47	62,33	0,78	0,77	0,23	0,01	24,23	100,00
CAL VIVA 2	6,42	0,51	0,54	62,71	0,54	0,39	0,22	0,00	28,67	100,00
CAL VIVA 1	15,40	1,17	1,31	54,85	0,48	0,31	0,24	0,03	26,21	100,00
GANQUIZ 3	6,34	1,23	0,88	51,27	0,38	0,15	0,23	0,07	39,46	100,00
GANQUIZ 2	11,70	1,36	0,90	46,77	0,31	0,18	0,28	0,02	38,47	100,00
GANQUIZ 1	10,25	1,04	0,79	48,43	0,47	0,12	0,24	0,01	38,65	100,00
SHOOBOL 3	7,40	0,83	0,59	51,05	0,42	0,16	0,20	0,02	39,34	100,00
SHOOBOL 2	3,37	0,77	0,74	54,84	0,27	0,11	0,22	0,03	39,64	100,00
SHOOBOL 1	5,13	0,97	0,68	53,87	0,34	0,12	0,23	0,03	38,63	100,00

2.4 Datos adicionales

Tabla 25: Pesos moleculares

Compuesto	Peso molecular	Fórmula
Oxido de Calcio	56	CaO
Hidróxido de Calcio	74	Ca(OH) ₂
Agua	18	H ₂ O
Dióxido de carbono	44	CO ₂
Carbonato de Calcio	100	CaCO ₃

2.4.1 Tiempos de fraguados – Consistencia Normal

Tabla 26: Consistencia Normal

Consistencia normal (300g)					
Producto	Penetración (mm)	Volumen (ml)	Fraguado inicial (hh/mm)	Fraguado final (hh/mm)	Consistencia normal %(ml/g)
Empaste Interior	16	155	4:00	8:30	52
Empaste Exterior	17	160	4h10	7:40	55
Empaste Comercial	19	135	3:40	8:10	57

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DEL PROCESO

El Diseño del Proceso Productivo tiene por objeto formular el modo de crear bienes y servicios en una escala industrial cumpliendo con especificaciones pre-establecidas.

Un proceso es una "sucesión de tareas o actividades desarrolladas por personas, que con la ayuda de insumos, herramientas, tecnología y conocimiento, transforman las materias primas y/o recursos en productos y/o servicios previamente definidos".

El producto, el proceso y el método de trabajo son los componentes interactuantes del subsistema denominado Ingeniería de Proceso que se realimentan permanentemente entre si creando la necesidad de diseños y rediseños de si mismos, aunque en una secuencia lógica primero se defina el producto y, éste a su vez, condicione la aplicación de ciertos procesos, sobre los que se requiere indagar para implantar nuevos métodos para mejorar la productividad, la calidad y la seguridad de los productos y procesos.

Los procesos, los métodos y los productos pueden ser modificados por diversas causas, entre ellas podemos mencionar:

- Aparición de un nuevo producto
- Aparición de una nueva tecnología
- Aparición de nuevos materiales
- Mayores requerimientos de volumen de producción
- Mayores requerimientos de calidad
- Necesidad de reducción de costes
- Eliminación de operaciones riesgosas
- Cumplimiento de requisitos legales
- Sustitución de unos materiales por otros

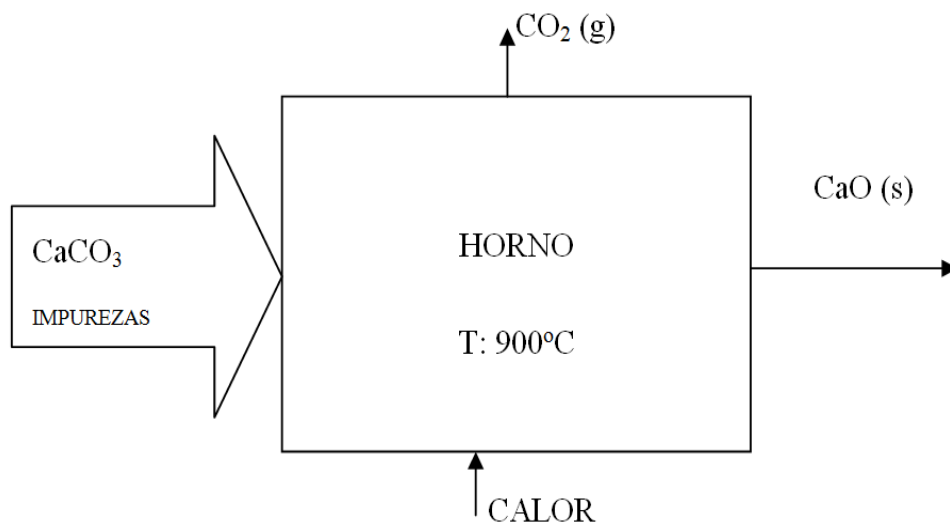
En el caso de nuestro diseño se trata de una aparición de un nuevo producto llamado empaste que va a partir de la materia prima producida en la corporación “LOS NEVADOS”, partiendo de allí realizaremos una serie de tareas y etapas para que al final se obtenga bienes y servicios para el adelanto económico, tecnológico y técnico de la corporación.

3.1 Cálculos de ingeniería

3.1.1 Balance de Masa de la planta calera El Pacífico

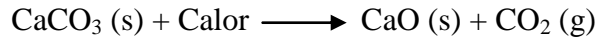
3.1.1.1 Proceso Intermitente: Producción de Cal viva

Entrada inicial + generación = salida final + consumo



Las calizas que se utilizan como materias primas para fabricar la cal, normalmente tienen una pureza que fluctúa entre 93 y 95 % de CaCO₃, por lo tanto, su contenido de impurezas oscila entre 5 y 7% respectivamente.

Se tomó como base de cálculo 1 día de producción.



Indica que el factor de concentración en un horno, con 100% de eficiencia, o estado ideal, será la relación CaCO_3/CaO , es decir:

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

En los análisis de piedra caliza realizados en el laboratorio “CEMENTO CHIMBORAZO S.A” se encontró una pureza de $\% \text{CaCO}_3 = 91,5$, por tanto las impurezas serían $\% \text{impurezas} = 8,5$.

$$\text{CaCO}_3 = \frac{599,89 \text{ kg piedra Caliza} \times 91,5 \text{ kg CaCO}_3}{100 \text{ kg piedra Caliza}} = 548,90 \text{ kg CaCO}_3/\text{día}$$

$$\text{CaO} = \frac{548,90 \text{ kg CaCO}_3 \times 56 \text{ kg CaO}}{100 \text{ kg CaCO}_3} = 307,384 \text{ kg CaO/día}$$

$$\text{CO}_2 = \frac{548,90 \text{ kg CaCO}_3 \times 44 \text{ kg CO}_2}{100 \text{ kg CaCO}_3} = 241,516 \text{ kg CO}_2/\text{día}$$

$$\begin{aligned} \text{IMPUREZAS} &= 599,89 \text{ kg piedra Caliza/día} - 548,90 \text{ CaCO}_3 \text{ kg/día} \\ &= 50,99 \text{ kg impurezas/día} \end{aligned}$$

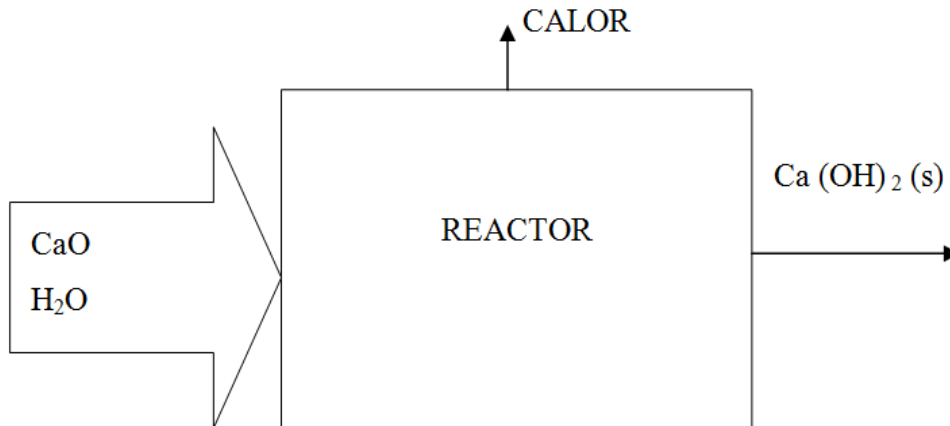
$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Valor Teórico}}{\text{Valor Práctico}} * 100\% = \frac{307,384}{599,89} * 100\% = 51,24\%$$

$$\text{Rendimiento CO}_2 = \frac{\text{Valor Teórico}}{\text{Valor Práctico}} * 100\% = \frac{241,516}{599,89} * 100\% = 40,26\%$$

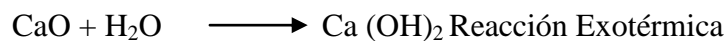
$$\text{Rendimiento impurezas} = \frac{\text{Valor Teórico}}{\text{Valor Práctico}} * 100\% = \frac{50,99}{599,89} * 100\% = 8,50\%$$

3.1.1.2 Proceso Intermitente: Producción de Cal hidratada

Entrada inicial + generación = salida final + consumo



La cal apagada de alto calcio tiene una solubilidad de 1,85 g/l a 0°C y de 0,71 g/l 100°C. Se obtiene de acuerdo a la siguiente reacción:



Esta reacción de hidratación, produce 15.300 calorías/mol, siendo su cinética incrementada hasta aproximadamente los 100 °C. De 100 °C hasta alrededor de 540 °C la velocidad de reacción disminuye y sobre los 549 °C la reacción se invierte.

De acuerdo a estos antecedentes y experiencias realizadas a escala de laboratorio, para lograr en faena a cielo abierto esta reacción en forma eficiente, y lograr un polvo fino y seco, es recomendable utilizar alrededor de un 50% más de agua que la cantidad teórica estequiometría.

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 = \frac{307,384 \text{ kgCaO} \times 74 \text{ kgCa}(\text{OH})_2}{56 \text{ kgCaO}} = 406,186 \text{ kg Ca}(\text{OH})_2/\text{día}$$

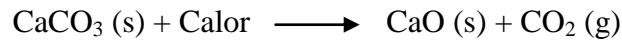
$$\frac{307,384 \text{ kg CaO}}{\text{día}} * \frac{18 \text{ Kg H}_2\text{O}}{56 \text{ Kg CaO}} = \frac{98,80 \text{ Kg H}_2\text{O}}{\text{día}}$$

3.1.2 Balance de energía

Tabla 27: Entalpias de Formación

Compuesto Químico	Entalpia de formación (KJ/mol)
CaCO ₃	-1206,92
CaO	-635,6
CO ₂	-393,509
Ca(OH) ₂	-986,6
H ₂ O	-285,830

3.1.2.1 Proceso Endotérmico



$$\Delta H \text{ Reacción} = H \text{ productos} - H \text{ reactivos}$$

$$\Delta H \text{ Reacción} = \{(H \text{ formación CaO} + H \text{ formación CO}_2) - (H \text{ formación CaCO}_3)\} \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta H \text{ Reacción} = \{(-635,6 + (-393,509)) - (-1206,92)\} \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta H \text{ Reacción} = 177,811 \text{ KJ/mol}$$

$$Q \text{ min} = 177,811 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}} * \frac{1 \text{ kmol CaO}}{56 \text{ Kg CaO}} * \frac{1000 \text{ mol}}{1 \text{ kmol}}$$

Calor minimo parala calcinación:

$$Q \text{ min} = 3175,20 \frac{\text{KJ}}{\text{KgCaO}}$$

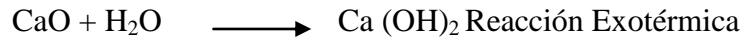
Para unaproducción de 307,384 kg CaO/díael Calor útil será:

$$Q \text{ útil} = 3175,20 \frac{\text{KJ}}{\text{KgCaO}} * 307,384 \frac{\text{Kg CaO}}{\text{día}}$$

$$Q \text{ útil} = 976005,70 \frac{\text{KJ}}{\text{día}}$$

$$Q \text{ útil} = 40666,90 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

3.1.2.2 Proceso Exotérmico



$$\Delta H \text{ Reacción} = H \text{ productos} - H \text{ reactivos}$$

$$\Delta H \text{ Reacción} = \{(H \text{ formación Ca}(\text{OH})_2) - (H \text{ formación CaO} + H \text{ formación H}_2\text{O})\} \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta H \text{ Reacción} = \{(-986,6) - (-635,6 + (-285,830))\} \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta H \text{ Reacción} = -65,17 \text{ KJ/mol}$$

$$Q \text{ min} = -65,17 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}} * \frac{1 \text{ kmol Ca}(\text{OH})_2}{74 \text{ Kg Ca}(\text{OH})_2} * \frac{1000 \text{ mol}}{1 \text{ kmol}}$$

Calor mínimo desprendido:

$$Q \text{ min} = 907,70 \frac{\text{KJ}}{\text{KgCa}(\text{OH})_2}$$

Para una producción de 406,186 kg Ca(OH)₂/día el Calor desprendido será:

$$Q = 907,70 \frac{\text{KJ}}{\text{KgCa}(\text{OH})_2} * 406,186 \frac{\text{Kg Ca}(\text{OH})_2}{\text{día}}$$

$$Q = 3686695,03 \frac{\text{KJ}}{\text{día}}$$

$$Q = 15362,2 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

3.1.3 Dosificación de materias primas

Se realizaron ensayos para optimizar la composición del producto, que fue definido en base a las mejores propiedades físico-químicas. Es así que el producto final de este

diseño de proceso es el empaste tanto para interiores como para exteriores, donde se realizaron ensayos para adoptar la óptima composición y que este defina las mejores propiedades físico-químicas, además de su calidad para que la demanda de clientes sea alta y satisfaga sus necesidades por lo que se preparó a escala este producto, un kilogramo. A continuación en detalle:

EMPASTE EXTERIOR: 1 kg

Composición

Cal Hidratada: 67%

Cemento: 18%

Arena: 15%

$$CAL\ HIDRATADA\ (kg) = \frac{67\% \times 1\ kg\ de\ empaste}{100\%} = 0,67\ kg\ Ca(OH)_2$$

$$CEMENTO\ (kg) = \frac{18\% \times 1\ kg\ de\ empaste}{100\%} = 0,18\ kg\ cemento$$

$$ARENA\ (kg) = \frac{15\% \times 1\ kg\ de\ empaste}{100\%} = 0,15\ kg\ arena$$

EMPASTE INTERIOR: 1 kg

Composición

Cal Hidratada: 67%

Cemento: 13%

Arena: 20%

$$CAL\ HIDRATADA\ (kg) = \frac{67\% \times 1\ kg\ de\ empaste}{100\%} = 0,67\ kg\ Ca(OH)_2$$

$$CEMENTO\ (kg) = \frac{13\% \times 1\ kg\ de\ empaste}{100\%} = 0,13\ kg\ cemento$$

$$ARENA\ (kg) = \frac{20\% \times 1\ kg\ de\ empaste}{100\%} = 0,20\ kg\ arena$$

3.1.4 Cálculo de la densidad – Método Le Chatelier.

EMPASTE EXTERIOR DISEÑADO

$$V_1 = 0,6\text{ml}$$

$$V_2 = 19,4\ \text{ml}$$

$$m_1 = 347,5\ \text{g}$$

$$m_2 = 393,0\ \text{g}$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 19,4\ \text{ml} - 0,6\text{ml} = 18,8\ \text{ml}$$

$$\Delta m = m_2 - m_1 = 393,0\ \text{g} - 347,5\ \text{g} = 45,50\ \text{g}$$

$$D = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{45,50\ \text{g}}{18,8\ \text{ml}} = 2,42\ \text{g/ml}$$

EMPASTE INTERIOR DISEÑADO

$$V_1 = 0,3\text{ml}$$

$$V_2 = 19,4\ \text{ml}$$

$$m_1 = 343,9 \text{ g}$$

$$m_2 = 392,0 \text{ g}$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 19,4 \text{ ml} - 0,3 \text{ ml} = 19,1 \text{ ml}$$

$$\Delta m = m_2 - m_1 = 343,9 \text{ g} - 392,0 \text{ g} = 48,1 \text{ g}$$

$$d = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{48,1 \text{ g}}{19,1 \text{ ml}} = 2,52 \text{ g/ml}$$

EMPASTE COMERCIAL

$$V_1 = 0,4 \text{ ml}$$

$$V_2 = 18,9 \text{ ml}$$

$$m_1 = 347,4 \text{ g}$$

$$m_2 = 397,3 \text{ g}$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 18,9 \text{ ml} - 0,4 \text{ ml} = 18,5 \text{ ml}$$

$$\Delta m = m_2 - m_1 = 397,3 \text{ g} - 343,4 \text{ g} = 53,9 \text{ g}$$

$$d = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{53,9 \text{ g}}{18,5 \text{ ml}} = 2,91 \text{ g/ml}$$

3.1.5 Cálculo de la densidad compactada

EMPASTE EXTERIOR

$$\text{Probeta vacía} = 70,8 \text{ g}$$

$$\text{Probeta + empaste} = 95,9 \text{ g}$$

$$D = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen compactado}} = \frac{25 \text{ g}}{21 \text{ ml}} = 1,19 \text{ g/ml}$$

EMPASTE INTERIOR

Probeta vacía= 70,8 g

Probeta + empaste = 95,9 g

$$D = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen compactado}} = \frac{25 \text{ g}}{20 \text{ ml}} = 1,25 \text{ g/ml}$$

EMPASTE COMERCIAL

Probeta vacía= 70,8 g

Probeta + empaste = 95,9 g

$$D = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen compactado}} = \frac{25 \text{ g}}{19,3 \text{ ml}} = 1,29 \text{ g/ml}$$

3.1.6 BALANCE DE MASA

3.1.6.1 Nuevo proceso para empaste exterior



De acuerdo a los porcentajes previamente detallados: Cal Hidratada: 67% - Cemento: 18% - Arena: 15%. Y la producción diaria total de Cal Hidratada ya calculada es 406,186 kg Ca (OH)₂. Se tiene:

$$\text{Cemento} = \frac{18\% \times 406,186 \text{ kg Ca(OH)}_2}{67\%} = 109,12 \text{ kg de cemento/día}$$

$$\text{Arena} = \frac{15\% \times 406,186 \text{ kg Ca(OH)}_2}{67\%} = 90,94 \text{ kg de arena/día}$$

$$\text{Cal Hidratada} = 406,186 \text{ kg Ca(OH)}_2/\text{día}$$

$$C + A + CH = E$$

Donde:

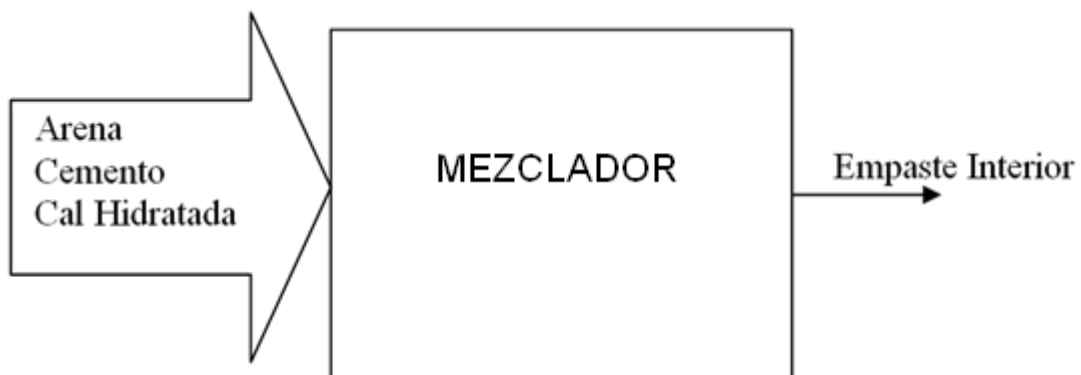
C: Cemento

A: Arena

CH: Cal Hidratada

$$\begin{aligned} &109,12 \text{ kg de cemento} + 90,94 \text{ kg de arena} + 406,186 \text{ kg Ca (OH)}_2 \\ &= 606,246 \text{ kg de EMPASTE EXTERIOR} \end{aligned}$$

3.1.6.2 Nuevo proceso para empaste interior



De la misma manera los porcentajes previamente detallados son: Cal Hidratada: 67% - Cemento: 13% - Arena: 20%. Y la producción diaria total de Cal Hidratada ya calculada es 406,186 kg Ca (OH)₂/día. Se tiene:

$$\text{Cemento} = \frac{13\% \times 406,186 \text{ kg Ca(OH)}_2}{67\%} = 78,81 \text{ kg de cemento/día}$$

$$\text{Arena} = \frac{20\% \times 406,186 \text{ kg Ca(OH)}_2}{67\%} = 121,25 \text{ kg de arena/día}$$

$$\text{Cal Hidratada} = 406,186 \text{ kg Ca(OH)}_2/\text{día}$$

$$C + A + CH = E$$

Donde:

C: Cemento

A: Arena

CH: Cal Hidratada

$$\begin{aligned} &78,81 \text{ kg de cemento} + 121,25 \text{ kg de arena} + 406,186 \text{ kg Ca (OH)}_2 \\ &= 606,246 \text{ kg de EMPASTE INTERIOR} \end{aligned}$$

3.2 Resultados

3.2.1 Comparación con las NORMAS INEN

Tabla 28: Norma INEN - Los Nevados

COMPUESTOS	NORMA INEN		"LOS NEVADOS"		CALIDAD
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Óxidos de calcio y magnesio (CaO y MgO, calculados sobre la base no volátil) en %	65	75	56,18	59,41	Buena
Sílice (SiO ₂ , calculado sobre la base no volátil) en %	16	26	5,21	6,45	Regular
Oxidos de hierro y aluminio (Fe ₂ O ₃ y Al ₂ O ₃ , calculados sobre la base no volátil) en %	-----	12	1,18	1,71	Buena
Dioxido de carbono (CO ₂ calculado sobre la base como se recibe) en %	-----	8	21,09	34,51	Mala

Tabla 29: Densidades

Muestra	Densidad Absoluta (g/cm ³)	Densidad compactada (g/cm ³)
Piedra Caliza Ganquiz	2,42	1,65
Piedra caliza Shoobol	2,55	1,56
Empaste Interior	2,52	1,25
Empaste Exterior	2,42	1,19
Producto Comercial	2,70	1,29
Cal hidratada	2,86	1,34

Tabla 30: Granulometría EMPASTES

		Empaste Comercial	Empaste Interior	Empaste Exterior
µm	N° de Tamiz	Peso retenido/tamiz (g)	Peso retenido/tamiz (g)	Peso retenido/tamiz (g)
250	60	0,02	0,01	0,02
212	70	0,02	0,02	0,03
150	100	0,05	0,09	0,09
75	200	1,58	1,80	0,15
63	230	2,31	2,51	0,44
53	270	4,18	4,18	2,1345
45	325	38,52	56,10	40,7408
25,4	500	52,82	34,12	51,2422
Residuo		0,33	0,50	4,2474
Sumatoria		99,82	99,34	99,0949

Tabla 31: Composición Química Empaste Exterior

	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	SO₃	Na₂O	K₂O	CO₂	Sum
MUESTRA	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
EMPASTE EXTERIOR	22,44	1,28	1,43	59,9	0,55	0,48	0,29	0,1	13,53	100,00

Tabla 32: Composición Química Empaste Interior

MUESTRA	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Sum (%)
EMPASTE INTERIOR	29,69	3,06	1,35	55,99	0,65	1,15	0,51	0,17	0,11	100

Tabla 33: composición Química Empaste Comercial

MUESTRA	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	CO ₂ (%)	Sum (%)
EMPASTE COMERCIAL	1,27	0,31	0,32	55,35	0,25	0,06	0,18	0,03	42,2	100,0

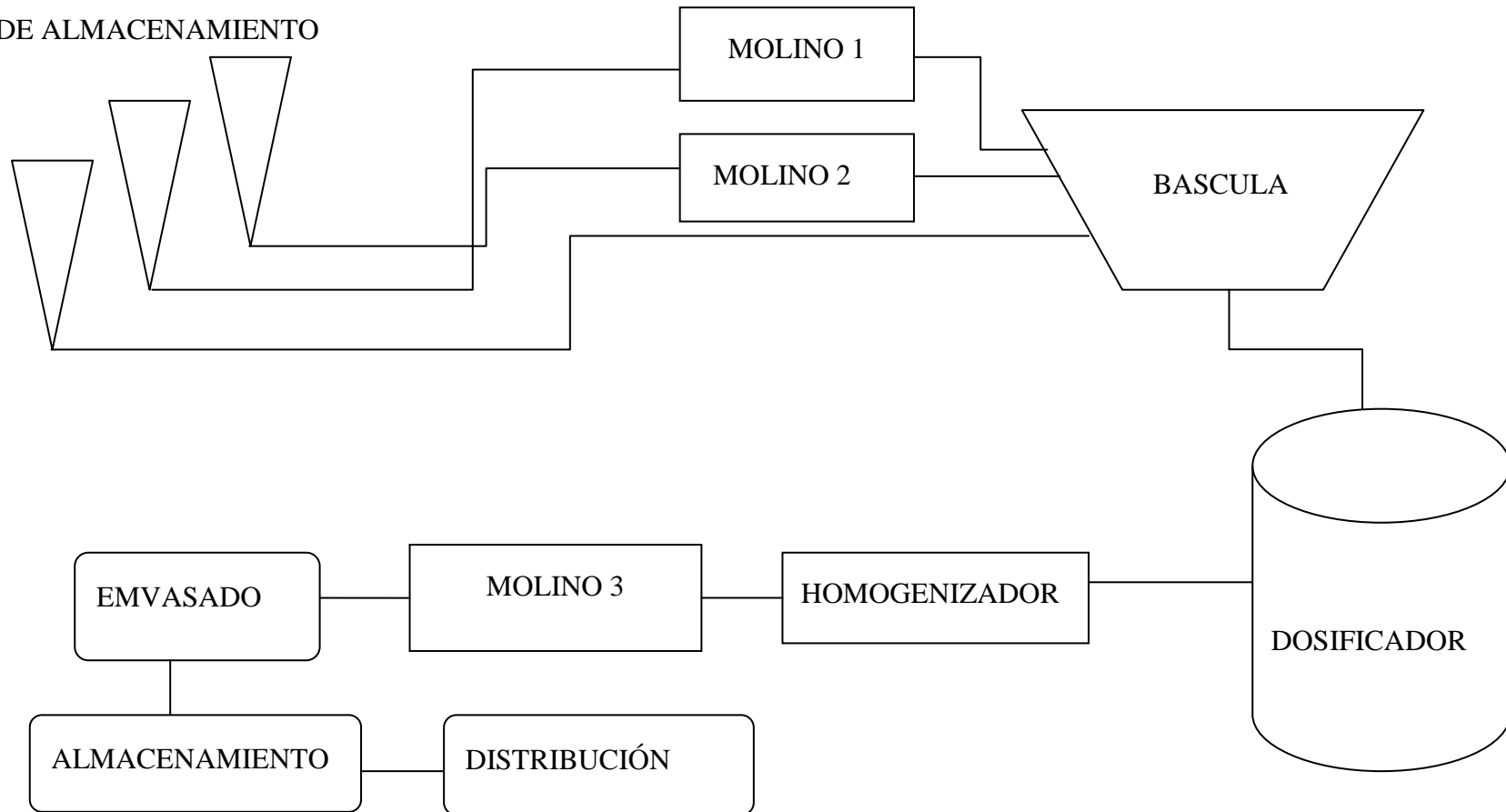
3.3 Propuesta

Lo primero es que se pueda tener una materia prima como es la cal hidratada de una alta calidad mejorando y acercándose a los niveles que las normas ecuatorianas INEN especifican. Esto se analizará en la discusión de datos y las posibles soluciones se las redactará en las recomendaciones.

El diseño de proceso propuesto para la producción de empaste tanto interior como exterior que se realizó a nivel de laboratorio, ahora se propone a escala empresarial para la corporación “LOS NEVADOS”, a continuación:

3.3.1 Diagrama del proceso

SILOS DE ALMACENAMIENTO



3.3.2 Descripción del proceso

1. **Silos de almacenamiento:** aquí se recoge la materia prima y se almacena como es el cemento, cal hidratada y arena.
2. **Molino 1:** Se procede a la molienda de la cal Hidratada por el tiempo de 30 ± 2 minutos hasta obtener la finura necesaria.
3. **Molino 2:** En este punto al igual se procede a la molienda de la arena por un lapso que está en $1h00 \pm 5$ minutos.
4. **Báscula:** Con el uso de la báscula se pesan las cantidades descritas en el balance de masa de los tres componentes o constituyentes del empaste interior como exterior.
5. **Dosificador:** En si trata de un almacenamiento de previo al mezclado de las materias primas.
6. **Homogeneizador:** La homogenización mecánica para formar una sola fase de color a la vista del producto.
7. **Molino 3:** Esta operación permita que se obtenga la granulometría exacta del producto final, además la obtención de una homogeneidad en el tamaño del grano de cada componente. Para empaste interior 15 ± 2 minutos y para empaste exterior 30 ± 5 minutos.
8. **Envasado:** El empaste o producto final de empacara en sacos con un peso de 20 kg.
9. **Almacenamiento:** Cada unidad de producto se mantendrá en condiciones que no afecten su calidad.
10. **Distribución:** Por ultimo la distribución del producto a franquicias y distribuidoras.

3.3.3 Equipos

3 Molinos de bolas

3 Silos de almacenamiento

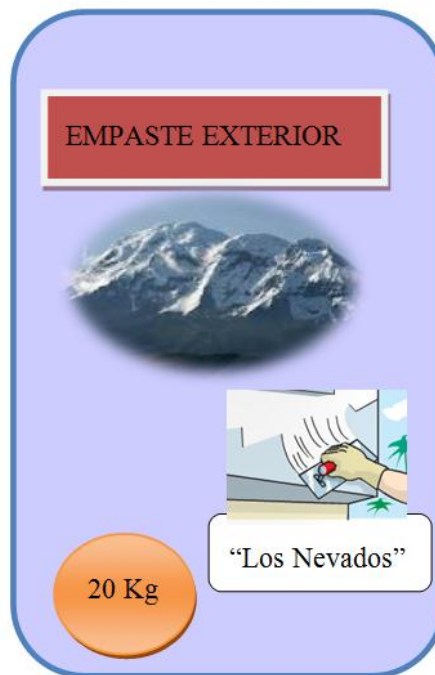
1 Bascula

1 Dosificador

1 Homogeneizador

3.3.4 Diseño de presentación del producto final

3.3.4.1 Empaste Exterior



Beneficios

1. Es un empaste para paredes exteriores.
2. No se fisura, resistente al agua y a la intemperie.
3. Sirve como fondo para la aplicación de pintura.
4. Brinda un gran ahorro de pintura.
5. Se obtiene un acabado completamente liso.
6. Se adhiere bien a la pared y no se desprende en presencia de humedad.
7. Cubre pequeñas fisuras.

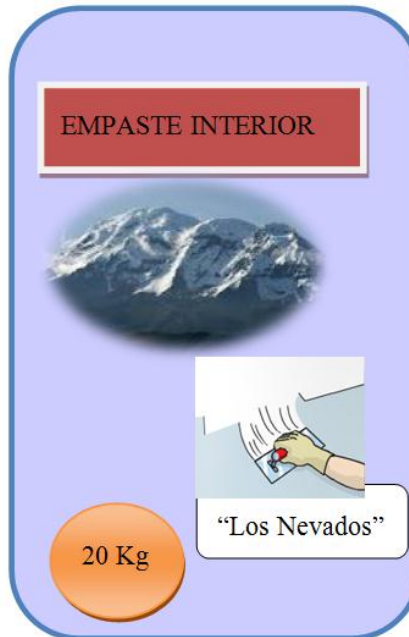
Aplicación

- La superficie puede estar seca o húmeda.
- Diluya la resina (líquido) con 4 partes de agua y utilice esta dilución como único líquido de amasado.
- Mezcle la disolución con el polvo hasta obtener una masa de consistencia uniforme.
- Aplicar con llana metálica mínimo dos manos.
- Dejar secar el empaste antes de aplicar la pintura (24 horas mínimo).
- Se recomienda sellar antes de aplicar pintura.

Consumo

10 kilos rinden 10 m² de superficie en dos manos aproximadamente.

3.3.4.2 Empaste interior



Beneficios

1. Es un empaste para paredes interiores.
2. Sirve como fondo para la aplicación de pintura en interiores.
3. Brinda un gran ahorro de pintura.
4. Se obtiene un acabado completamente liso.
5. Cubre pequeñas fisuras.

Aplicación

- La superficie puede estar seca o húmeda.
- Diluya la resina (líquido) con 4 partes de agua y utilice esta dilución como único líquido de amasado.
- Mezcle la disolución con el polvo hasta obtener una masa de consistencia uniforme.

- Aplicar con llana metálica mínimo dos manos.
- Dejar secar el empaste antes de aplicar la pintura (24 horas mínimo).

Consumo

10 kilos rinden 10 m² de superficie en dos manos aproximadamente.

3.4 Análisis y discusión de resultados

Observando los resultados de los análisis efectuados a la materia prima se propone que el proceso de elaboración de cal hidratada tiene que ser mejorado en las condiciones siguientes para obtener una materia prima de calidad por ende un empaste óptimo para que haya una demanda de clientes y así crezca la economía actual de la corporación “LOS NEVADOS”.

- ✓ La cal hidratada tiene que alcanzar por lo menos un 65% en contenido de Oxido de Calcio, actualmente posee un máximo de 59,41%.
- ✓ La cal hidratada tiene que alcanzar por lo menos un 16% en contenido de sílice, actualmente posee un mínimo de 5,21%.
- ✓ La suma total de porcentajes de oxido de hierro y aluminio tiene que tener un límite máximo de 12% en lo que la cal hidratada producida contiene 1,71 % como máximo es decir se encuentra dentro de los limites.
- ✓ El dióxido de carbono no debe exceder en el 8% y en la cal hidratada se tiene el 34,51%.

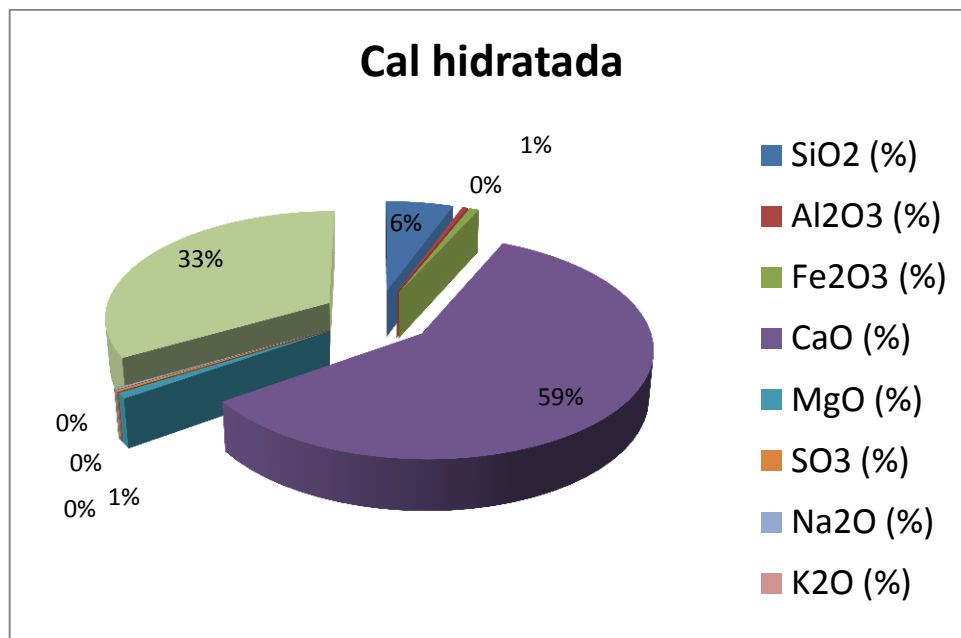


Grafico 1: Composición química: Cal Hidratada

Se observa que la mayor cantidad de composición se tiene en Óxido de Calcio.

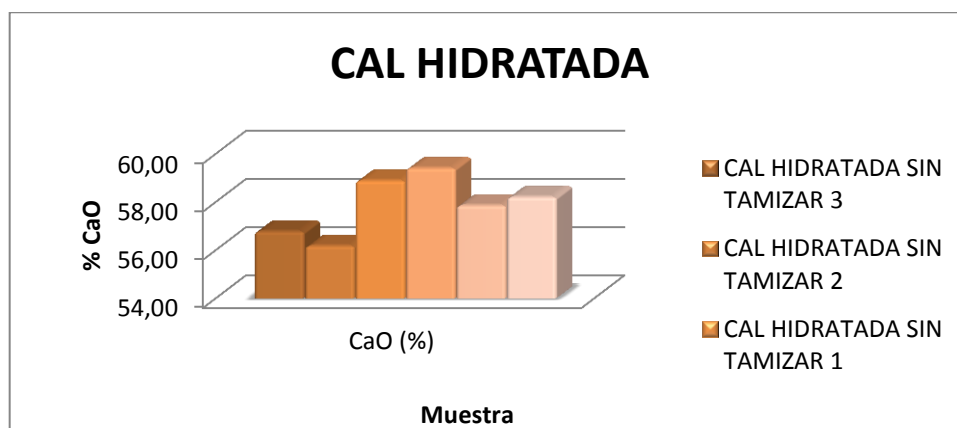


Grafico 2: Cal hidratada % CaO

En el grafico se observa los porcentajes máximos y mínimos de contenido de CaO en las muestras obtenidas en el laboratorio. El porcentaje más alto de CaO se puede observar en la cal hidratada Tamizada 3 con un 59,41%.

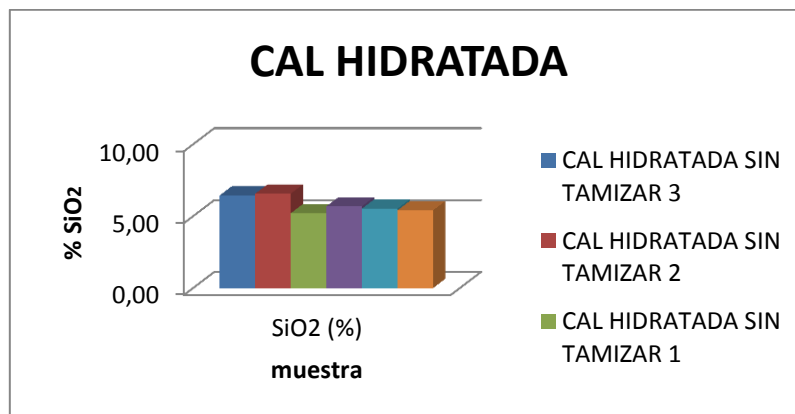


Grafico 3: Cal hidratada % SiO₂

En el grafico se observa los porcentajes máximos y mínimos de contenido de SiO₂ en las muestras obtenidas en el laboratorio. El porcentaje más alto de SiO₂ se puede observar en la cal hidratada sin tamizar con un 6,57%.

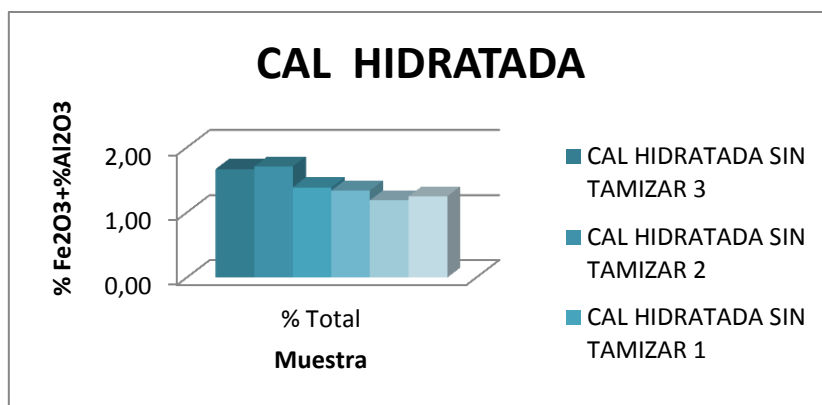


Grafico 4: Cal Hidratada % Fe₂O₃ y Al₂O₃

En el grafico se observa los porcentajes máximos y mínimos de contenido de la suma de % Fe₂O₃ y % Al₂O₃ en las muestras obtenidas en el laboratorio. El porcentaje más alto de la

suma de estos componentes se puede observar en la cal hidratada sin tamizar2 con un 1,71%.

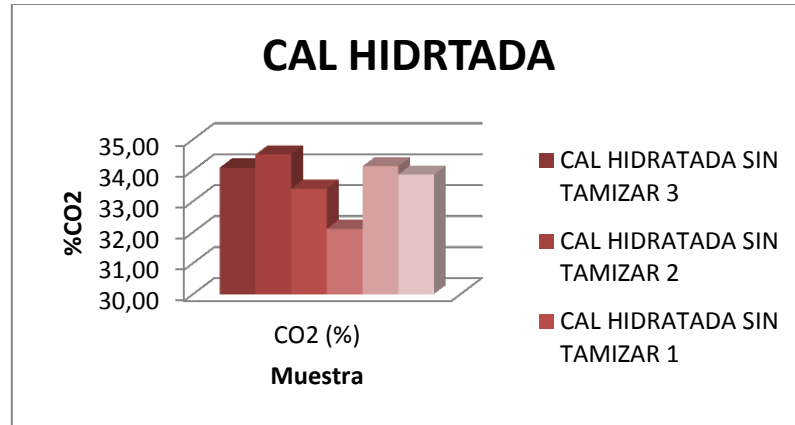


Grafico 5: Cal hidratada % CO₂

En el grafico se observa los porcentajes máximos y mínimos de contenido de CO₂ en las muestras obtenidas en el laboratorio. El porcentaje más alto de CO₂ se puede observar en la cal hidratada sin tamizar2 con un 34,51%.

Según el análisis hecho a la materia prima, cal hidratada se puede decir que la calidad es relativamente REGULAR. Según la Norma INEN 246.

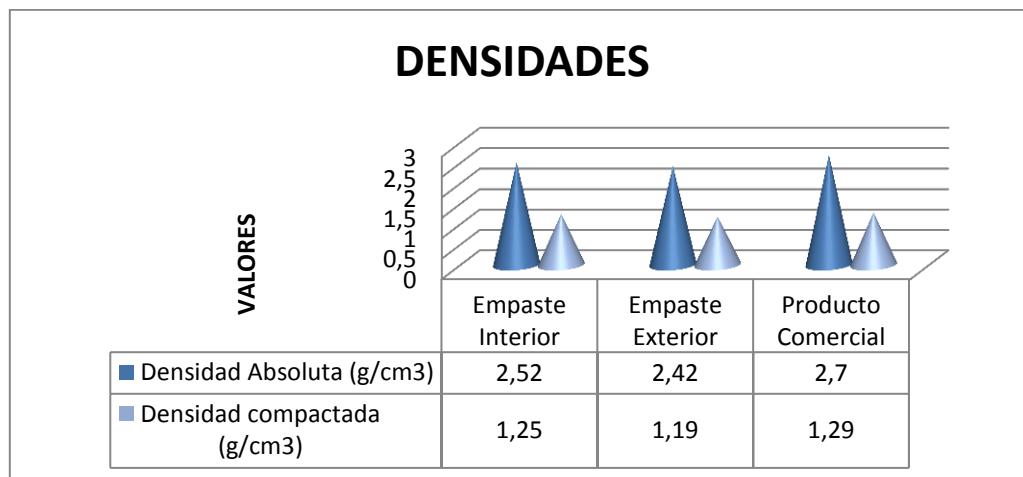


Gráfico 6: Comparación de Densidades

Las densidades calculadas nos dan un panorama favorable a lo que se quería llegar ya que la densidad más alta la tiene el empaste industrial, y entre el empaste exterior e interior se muestra en el gráfico que el segundo tiene un valor más alto por la razón que posee un tiempo menor de molienda que el empaste exterior.

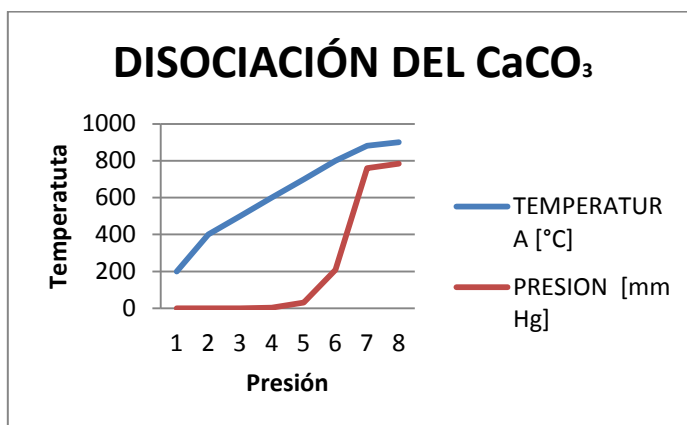


Gráfico 7: Temperatura en el Horno

A medida que la temperatura aumenta lo hace de la misma manera la presión es decir dentro del horno se tiene una relación directamente proporcional T vs P.

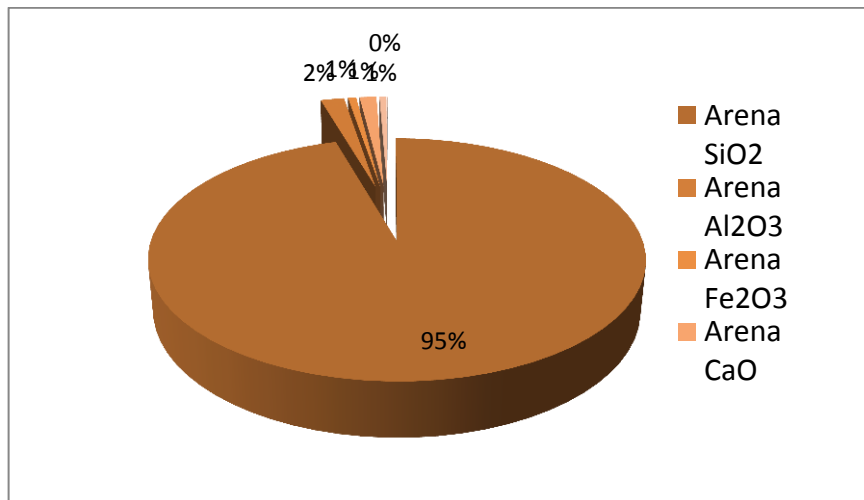


Gráfico 8: composición Química: Arena

De acuerdo al análisis químico se tiene que la arena tiene como máximo componente el Óxido de Silicio.

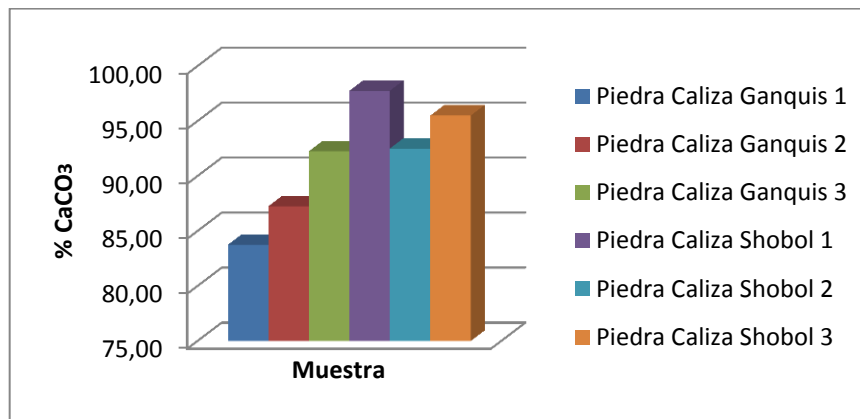


Gráfico 9: Carbonatos totales PIEDRA CALIZA

Se muestra que la piedra caliza proveniente de las minas de Ganquis poseen mayor porcentaje de carbonatos por tanto se supondría que la cal hidratada a partir de esta materia prima será con un abundante contenido de Oxido de Calcio.

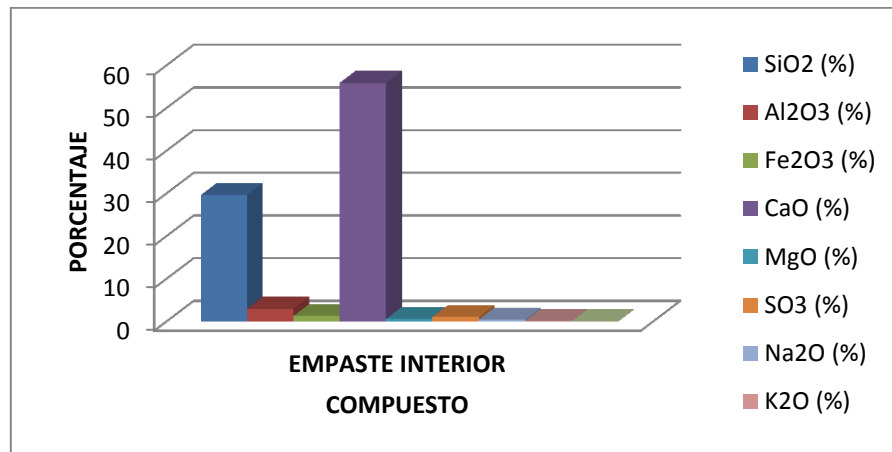


Gráfico 10: Empaste Interior - Composición Química

Aquí se ve la composición química del empaste interior donde los puntos más altos se tiene en Oxido de calcio y Oxido de sílice de mayor a menor respectivamente.

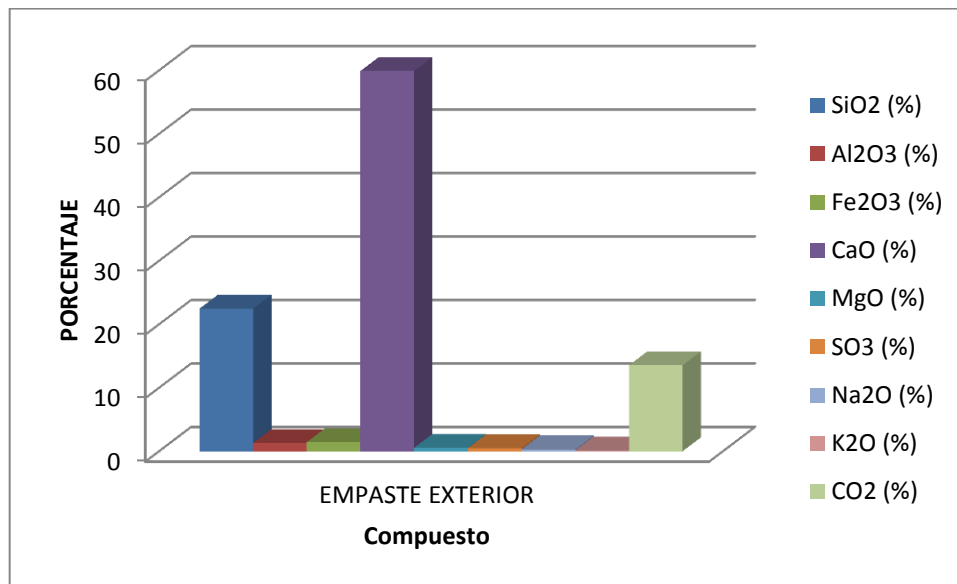


Gráfico 11: Empaste Exterior - Composición Química

Aquí se ve la composición química del empaste interior donde los puntos más altos se tiene en Oxido de calcio y Oxido de sílice de mayor a menor respectivamente y en menor cantidad el dióxido de carbono.

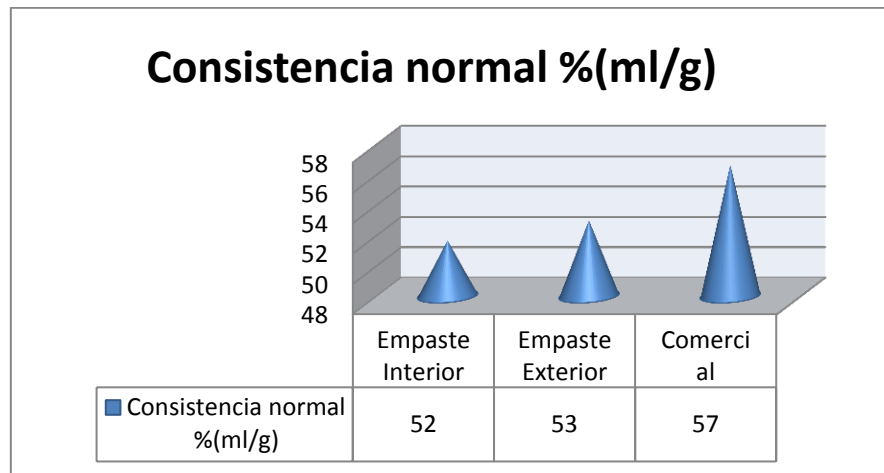


Grafico 12: Consistencia Normal

Como se puede observar la consistencia normal se encuentran muy cercanas entre cada uno de los productos propuestos y el comercial.

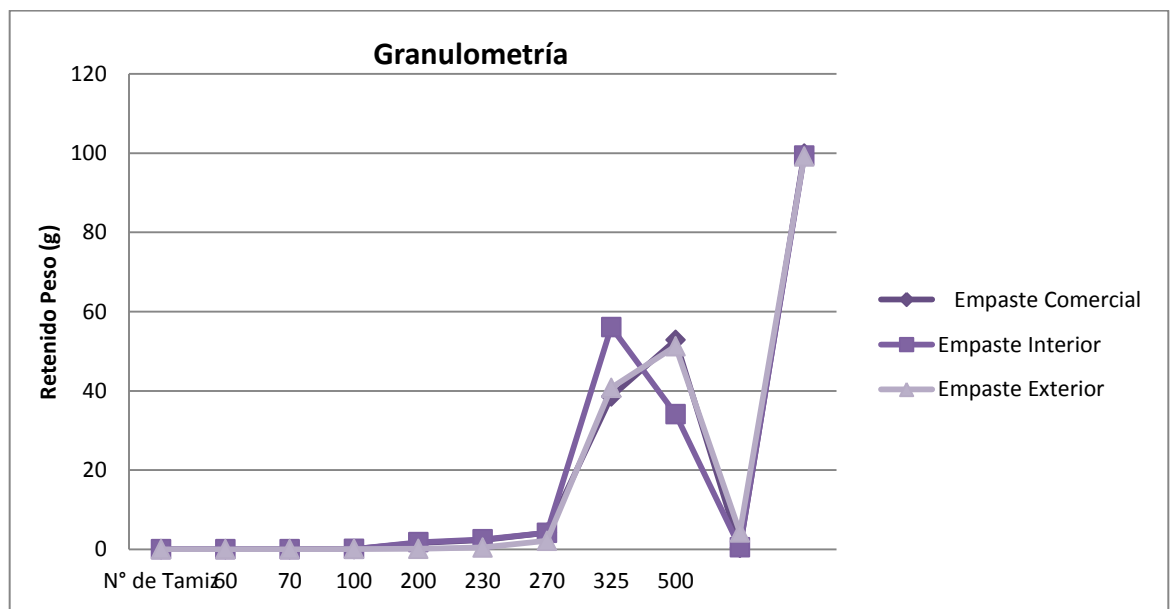


Grafico 13: Comparación de Granulometrías

La curva del empaste interior tiene mayor retenido en el tamiz No 325 es decir es mas grueso que el exterior y el comercial, ya que posee un tiempo menor de molienda.

CAPITULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- ✓ El diagnostico actual de la planta permitió concluir que la producción de hidróxido de calcio o cal hidratada no se realiza de forma eficiente y técnica por lo que es necesario tomar en cuenta las recomendaciones.
- ✓ El diagnostico actual de la planta permitió concluir que la producción de cal hidratada no se realiza de forma eficiente y técnica. No cumple los límites máximos y mínimos de calidad como 65% en contenido de Oxido de Calcio, actualmente posee un máximo de 59,41%. INEN 246
- ✓ El empaste exterior desarrollado o propuesto tiene la siguiente composición: cal hidratada 67 %, Cemento 18 %, Arena 15%.
- ✓ El empaste interior desarrollado o propuesto tiene la siguiente composición: cal hidratada 67 %, Cemento 13 %, Arena 20%.
- ✓ Se Obtienen 1,49 kilogramos de empaste por kilogramo de cal hidratada
- ✓ A partir de la cal hidratada que se produce en la corporación “LOS NEVADOS” se pudo obtener un producto que se asemeja a las características del producto que actualmente es comercializado. La producción Anual será: 181,874 Tn empaste / año.
- ✓ El rendimiento de los empastes interior y exterior, es 1kg/m^2 que es similar al producto comercial.

- ✓ El empaste exterior e interior contienen un porcentaje en óxido de calcio muy similar al producto comercial, su composición varía en el contenido de sílice ya que los productos propuestos contienen arena de un 95% de pureza.

4.2 Recomendaciones

Para que la corporación “LOS NEVADOS” llegue a la calidad en la producción de cal hidratada se recomienda lo siguiente:

- ✓ **Tamaño de la piedra caliza:**

El tamaño de partícula de caliza debe ser pequeño, típicamente alrededor de 1,5”. Sin embargo, debido a la naturaleza del funcionamiento del chancado, en realidad hay un rango en tamaño que va desde 1,5” a 2”. La caliza para producir cal se encuentra en dos rangos de 6 mm a 15 mm y de 15 mm a 50 mm. Este tamaño debe ser completamente uniforme.

- ✓ **Sistemas de pesaje:**

Tanto para la carga del horno como para la hidratación de la cal y así conocer los rendimientos exactos de la producción.

- ✓ **Temperatura del horno durante el período de calcinación:**

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. La temperatura óptima debe ser 900 ± 10 °C.

✓ **Tiempo de residencia de la cal en el interior del horno:**

Durante el proceso de calcinación, el tiempo de residencia de la caliza, 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 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.

✓ **Equipos de apagado de cal:**

Hidratador con un dispositivo de alimentación de agua, equipado con una serie de dispositivos para el control de la reacción de hidratación y de la humedad de la cal hidratada. El producto así formado, debe sufrir posteriormente un proceso de separación de alta eficiencia, a fin de lograr un producto final con una finura inferior a 60 micras.

✓ **Comparaciones Organolépticas:**

Al aplicar los productos propuestos compararlos por medio de propiedades organolépticas con la apariencia del producto comercial ya en la obra o en su uso.

BIBLIOGRAFÍA

- **COLOMA., G.**, La Cal: ¡Es un reactivo químico!, Santiago-Chile., Editorial Perico., 2008.
- **HORNBOSTEL., C.**, Materiales para construcción tipos y usos y aplicaciones, 2da edición., Mexico., Editorial Limusa. 2002., Pp 120-240.
- **MCCABE., W.**, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, Sexta edición., Nueva York-Estados Unidos., Editorial McGraw-will., 2002.
- **OIZUS., F.**, Materiales de construcción, Séptima edición, Madrid-España., Editorial dossat, 1985., Pp. 200-280.

Internet

- **CAL HIDRATADA Y CAL VIVA**
 - <http://turnkey.taiwantrade.com>
2011-12-04
- **MORTEROS**
 - http://www.kalk.at/es/kalkfarben/kalk_sinterwasser.php
2011-11-07
 - <http://www.naturalcal.com/listado.html>

2011-11-08

- http://www.matransrl.com.ar/fichas/Klaukol/guia_morteros.pdf

2012-01-10

- **REVOQUES**

- <http://www.arqhys.com/articulos/materiales-cal.html>

2011-12-08

- <http://blogbricolaje.com/como-hacer-un-revoque-exterior-paso-a-paso/>

2011-12-07

- <http://www.hacerencasa.com/>

2012-02-05

- **EMPASTE**

- http://www.cemix.com/CEMIX_Mortero_empaste.aspx

2012-03-03

- <http://bricolaje.facilísimo.com/reportajes/albanileria/reformas/>

2012-04-02

ANEXOS

Anexo I: Situación actual de la corporación “LOS NEVADOS”



COMBUSTIBLE



PIEDRA CALIZA



TRANSPORTE DE PIEDRA



CHIMENEA



ALIMENTACION DE
COMBUSTIBLE



DESCARGA DE CAL VIVA

ANEXO II: Producto de la corporación “LOS NEVADOS”



CAL VIVA



HIDRATACIÓN



MOLINO



TAMIZADOR



CAL HIDRATADA TAMIZADA



CAL HIDRATADA MOLIDA

ANEXO III: Muestreo de la materia prima



TOMA DE MUESTRA



CODIFICACIÓN



MUESTRA CAL HIDRATADA



CAL HIDRATADA TAMIZADA



MUESTRA CAL VIVA



MUESTRA GANQUIS-SHOOBOL

ANEXO III: Laboratorio “CEMENTO CHIMBORAZO”



MUESTRAS



CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS



TRITURADORA



PULVERIZADOR



PRENSADORA PASTILLA



RAYOS X

ANEXO IV: Análisis complexométrico - volumétrico



PORCENTAJE DE CaCO_3



PÉRDIDA POR CALCINACIÓN



MUFLA 1000°C



TITULACIONES



SEQUEDAD POR EVAPORACIÓN



MUESTRAS PARA TITULAR

ANEXO V: Granulometría



MUESTRA PARA TAMIZAR



TAMIZ



RETENIDO TAMIZ



TAMIZ No 270



TAMIZADO



PASANTE

ANEXO VI: Nuevo producto y su caracterización



MOLIENDA DEL PRODUCTO



CÁLCULO DE LA DENSIDAD



TIEMPO DE FRAGUADO



AMASADO MECÁNICO



MOLDEADO



DENSIDAD

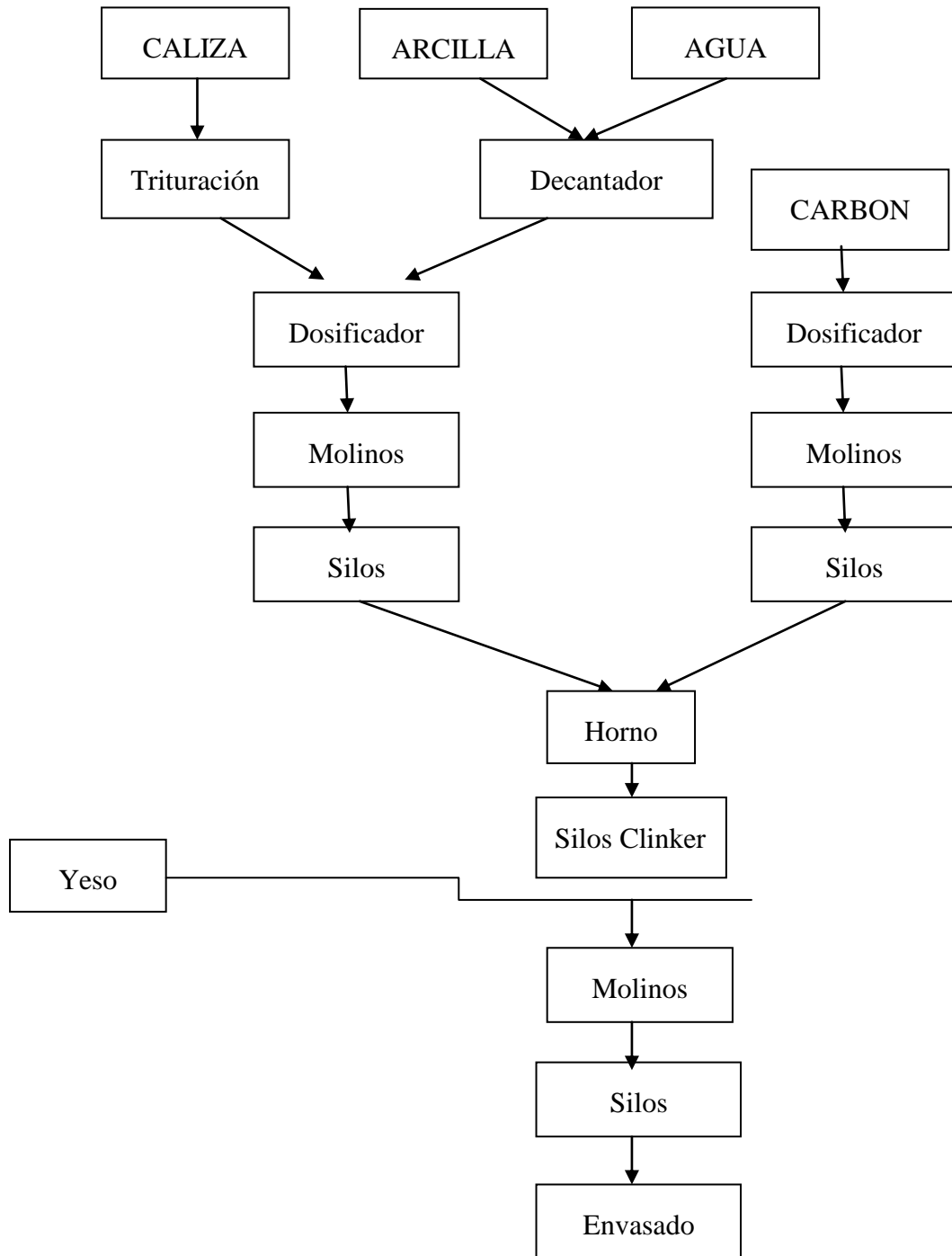
COMPACTADA

Anexo VII: Tamices Gruesos

SERIE GRUESOS			APERTURA DEL TAMIZ		DIAMETRO DE 3" (76 mm)		DIAMETRO DE 8" (203 mm)		DIAMETRO DE 12" (305 mm)	
					NUMERO DE	NUMERO DE	NUMERO DE	NUMERO DE	NUMERO DE	NUMERO DE
TAMAÑO O NUMERO			ESTANDAR	ALTERNATIVO	MODELO DE	MODELO DE	MODELO DE	MODELO DE	MODELO DE	MODELO DE
DEL TAMIZ					BRONCE	ACERO	BRONCE	ACERO	BRONCE	ACERO
			(mm)	(In)		INOXIDABLE		INOXIDABLE		INOXIDABLE
	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

Anexo VIII: Tamices Finos

SERIE FINOS	APERTURA DEL TAMIZ		DIAMETRO DE 3" (76 mm)		DIAMETRO DE 8" (203 mm)		DIAMETRO DE 12" (305 mm)	
	ESTANDAR (mm)	ALTERNATIVO (ln)	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
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	CS-340	CB-840	CB-840	CB-1240	CB-1240
No. 45	355 um	0,0139	CB-345	CS-345	CB-845	CB-845	CB-1245	CB-1245
No. 50	300 um	0,0117	CB-350	CS-350	CB-850	CB-850	CB-1250	CB-1250
No. 60	250 um	0,0098	CB-360	CS-360	CB-860	CB-860	CB-1260	CB-1260
No. 70	212 um	0,0083	CB-370	CS-370	CB-870	CB-870	CB-1270	CB-1270
No. 80	180 um	0,007	CB-380	CS-380	CB-880	CB-880	CB-1280	CB-1280
No. 100	150 um	0,0059	CB-3100	CS-3100	CB-8100	CB-8100	CB-12100	CB-12100
No. 120	125 um	0,0049	CB-3120	CS-3120	CB-8120	CB-8120	CB-12120	CB-12120
No. 140	106 um	0,0041	CB-3140	CS-3140	CB-8140	CB-8140	CB-12140	CB-12140
No. 170	90 um	0,0035	CB-3170	CS-3170	CB-8170	CB-8170	CB-12170	CB-12170
No. 200	75 um	0,0029	CB-3200	CS-3200	CB-8200	CB-8200	CB-12200	CB-12200
No. 230	63 um	0,0025	CB-3230	CS-3230	CB-8230	CB-8230	CB-12230	CB-12230
No. 270	53 um	0,0021	CB-3270	CS-3270	CB-8270	CB-8270	CB-12270	CB-12270
No. 325	45 um	0,0017	CB-3325	CS-3325	CB-8325	CB-8325	CB-12325	CB-12325
No. 400	38 um	0,0015	CB-3400	CS-3400	CB-8400	CB-8400	CB-12400	CB-12400
Platillo		CB-3500	CS-3500	CB-8500	CB-8500	CB-8500	CB-12500	—
Platillo con borde extendido			CB-3502	—	CB-8502	CB-8502	CB-12502	CB-12502
Tapa sin anillo			CB-3504	CS-3504	CB-8504	CB-8504	CB-12504	CB-12504
Tapa con anillo			CB-3506	CB-8506	—	—	—	—

ANEXO IX: Cemento vía húmeda

ANEXO X: Cemento vía seca