
UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCION Y DISEÑO
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA CONSTRUCCION
ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO



Escuela de Ingeniería
en Construcción

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA
CONSTRUCCION**

**“ESTUDIO, CARACTERIZACION Y EVALUACION DE PUZOLANAS
LOCALES EN LA MASA CERAMICA DEL LADRILLO”**

AUTOR : Sr. Alejandro Mella Stappung
PROFESOR GUIA : Sr. Eduardo Puentes Bravo
Dr. en Ciencias Químicas

Concepción, Agosto del 2004



RESUMEN

En la naturaleza se alberga una amplia gama de distintos tipos de materiales, los que se pueden clasificar en muchos grupo diferentes, es así como se encuentran materiales de origen metálico y no metálico, los que dependiendo de sus características y desde tiempos muy remotos hasta la actualidad, han despertado distintos tipos de intereses en el ser humano, empleándolos mediante la aplicación de distintos tipos de tecnologías. En Chile ha tomado un carácter primordial para el desarrollo del país el primer grupo mencionado, pues por sus características geográficas, el cobre por ejemplo, hace que la minería sea una de las actividades que mayor aporte hace al crecimiento del país. Sin embargo, el grupo de los no metálicos en países industrializados ha causado el efecto contrario, debido a que constituye un insumo bastante importante para la industria.

Es precisamente en el segundo grupo donde sitiamos a la puzolana, nombre genérico del material, conociéndosele como ceniza volcánica (pumicita) y piedra pómez, dependiendo de su granulometría. Fue ocupada tanto por griegos y romanos para crear sus grandes imperios, lo que indica que hace ya bastante tiempo se conocen las características excepcionales de este material.

Tiene un origen volcánico y otro orgánico, existiendo tanto las puzolanas naturales como las artificiales. En este trabajo se tratan las puzolanas naturales, específicamente las de origen volcánico, que se caracterizan por ser un material poroso, cualidad que adquiere al ser expulsada del volcán cuando éste entra en erupción. Sale como lava volcánica que es rica en sílice, y en esas condiciones no existe como cuarzo sino que como un material fundido que está lleno de gases, debido a esto es expulsado del volcán y cae posteriormente en un estado de enfriamiento por lo que no tiene tiempo para alcanzar la estructura cristalina del cuarzo, quedando como vidrio. Es precisamente esa estructura de vidrio y de poros la que le da la característica y el valor al material.



Que sea una estructura vítrea indica que posee un desorden estructural, por lo que le otorga una mayor reactividad.

El cuarzo por ejemplo es una estructura cristalina perfectamente ordenada y con un bajo nivel de energía. En cambio el vidrio es una estructura desordenada que posee un alto nivel de energía y no es reactivo porque no tiene poros. Como la puzolana posee ambas cualidades es como si la naturaleza hubiese desordenado el cuarzo y lo hubiese dotado de poros. Esto hace que la puzolana sea un material interesantísimo desde el punto de vista del desarrollo de materiales. Es precisamente aquí donde se le ha estado trabajando tanto en Chile como en otros países, empleando la puzolana en la fabricación de algunos materiales como el cemento, pues en combinación con el clínker reduce considerablemente la utilización de éste.

También se le emplea como adición en morteros y hormigones, donde reacciona con sus componentes y produce distintos efectos; como evitar su debilitamiento, impedir problemas de expansión y proporcionar mayor durabilidad a la estructura.

Después de haber analizado las características y propiedades de la puzolana, cosa que no fue muy fácil debido a que hay poca información referente al tema, se procedió a desarrollar la etapa experimental del proyecto.

Se logra llevar a cabo la incorporación de puzolana a la masa cerámica del ladrillo, analizándose el comportamiento de las probetas mediante mediciones de: Densidad, Absorción, Conductividad Térmica y Resistencia a la Compresión.

Los resultados obtenidos en esta experiencia fueron bastante alentadores, sobre todo en lo que se refiere a la Conductividad Térmica.



INDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCION	8
HIPOTESIS	9
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
<u>1.0 CAPITULO I : EL LADRILLO</u>	<u>12</u>
1.1 GENERALIDADES DEL LADRILLO	12
1.1.1 DEFINICION DE LADRILLO.....	12
1.1.2 SITUACION NORMATIVA DEL LADRILLO EN CHILE	13
1.2 MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA FABRICACION DEL LADRILLO.....	14
1.2.1 LAS ARCILLAS	14
1.2.2 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LAS ARCILLAS	16
1.2.2.1 LA CAOLINITA.	17
1.2.2.2 LA ILITA.....	17
1.2.2.3 LA MONTMORILLONITA.	17
1.2.3 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS.....	18
1.2.3.1 PLASTICIDAD.	18
1.2.3.2 INESTABILIDAD DE VOLUMEN.	19
1.2.3.3 SUPERFICIE ESPECIFICA.	20
1.2.3.4 COHESION INTERNA.....	20
1.2.3.5 CAPACIDAD DE ABSORCION.	21
1.2.3.6 TRANSFORMACION POR MEDIO DE CALOR.	21
1.2.3.7 HIDRATACION E HINCHAMIENTO.	22
1.2.3.8 TIXOTROPIA.....	22
1.2.4 LOS DESENGRASANTES	23
1.2.4.1 CAOLINES Y ARCILLAS CAOLINIFERAS.	23
1.3 TIPOS DE LADRILLOS CERAMICOS.....	24
1.3.1 TIPO I “LADRILLOS CERAMICOS A MAQUINA”	24
1.3.2 TIPO II “LADRILLOS CERAMICOS A MANO”	24
1.4 CLASES DE LADRILLOS CERAMICOS	25



1.4.1 LADRILLOS MACIZOS HECHOS A MAQUINA (MQM).....	25
1.4.2 LADRILLOS PERFORADOS HECHOS A MAQUINA (MQP).	25
1.4.3 LADRILLOS HUECOS HECHOS A MAQUINA (MQH).	26
1.4.4 LADRILLOS HECHOS A MANO (MNM).....	27
1.5 GRADOS DE LADRILLOS CERAMICOS	27
1.5.1 GRADO 1	27
1.5.2 GRADO 2	27
1.5.3 GRADO 3	27
1.5.4 GRADO 4	28
1.6 ABSORCION DE AGUA	28
1.7 PROCESO DE FABRICACION DEL LADRILLO	29
1.7.1 PROCESO DE FABRICACION DE LADRILLOS POR VIA SECA	29
1.7.1.1 MATERIA PRIMA.....	30
1.7.1.2 MOLIENDA.	30
1.7.1.3 HARNEADO Y CLASIFICACION.	30
1.7.1.4 DOSIFICACION GRANULOMETRICA.	31
1.7.1.5 PRENSADO EN SECO.	31
1.7.1.6 SECADO.....	31
1.7.1.7 COCCION.	32
1.7.1.8 EMBALAJE.	32
1.7.2 PROCESO DE FABRICACION DE LADRILLOS POR VIA SEMI HUMEDA	32
1.7.2.1 MATERIAS PRIMAS.	32
1.7.2.2 DOSIFICACION.....	33
1.7.2.3 MOLIENDA.	34
1.7.2.4 LAMINACION.	35
1.7.2.5 ALMACENAJE EN SILOS.	35
1.7.2.6 MOLDEO.	36
1.7.2.7 CORTE.	37
1.7.2.8 SECADO.....	38
1.7.2.9 COCCION.	39
1.8 CONSIDERACIONES EN EL PRODUCTO FINAL	40
2.0 CAPITULO I: LAS PUZOLANAS.....	42
2.1 ORIGEN DEL TERMINO “PUZOLANA”.....	42
2.2 DEFINICION DE PUZOLANA.....	42



2.3 BREVE HISTORIA DE LAS PUZOLANAS.....	44
2.4 CLASIFICACION DE LAS PUZOLANAS SEGUN EL ORIGEN.....	45
2.4.1 PUZOLANAS NATURALES.	47
2.4.2 PUZOLANAS ARTIFICIALES.	51
2.5 LAS PUZOLANAS EN CHILE Y SUS YACIMIENTOS.....	52
2.6 CARACTERIZACION DE LAS PUZOLANAS DE ORIGEN VOLCANICO.	57
2.6.1 COMPOSICION QUIMICA DE LAS PUZOLANAS.	57
2.6.2 PROPIEDADES FISICAS DE LAS PUZOLANAS.....	59
2.6.3 CAUSAS DE LA ACTIVIDAD PUZOLANICA	63
2.6.3 CRITERIOS DE VALORACION DE LAS PUZOLANAS	64
2.6.4 CRITERIOS CUALITATIVOS	65
2.6.4.1 QUIMICOS.....	66
2.6.4.2 FISICOS	66
2.6.5 CRITERIOS CUANTITATIVOS.....	67
2.6.5.1 QUIMICOS.....	67
2.6.5.2 FISICOS	69
2.7 DESARROLLO DE LAS APLICACIONES DE LAS PUZOLANAS DE ORIGEN VOLCANICO: ESTADO DEL ARTE.....	71
2.7.1 APLICACION DE PUZOLANAS EN EL CEMENTO	71
2.7.2 CLASIFICACION DE LOS CEMENTOS SEGUN SUS COMPONENTES. .	72
2.7.2.1 CEMENTOS PUZOLANICOS	73
2.7.3 APLICACION DE PUZOLANAS EN MORTEROS Y HORMIGONES.....	73
2.7.4 APLICACION DE PUZOLANAS EN LA FABRICACION DE LADRILLO.	74
2.7.5 APLICACIONES VARIAS.....	75
2.7.5.1 PUZOLANAS VOLCANICAS ROJAS.	75
2.7.5.2 PUZOLANAS VOLCANICAS NEGRAS.	76
3.0 CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	78
3.1 CARACTERIZACION DE MATERIAS PRIMAS	78
3.1.1 ARCILLA.....	78
3.1.1 PUZOLANA	79
3.2 ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS.....	80
3.2.1 MOLIENDA PRIMARIA	82



3.2.2 MOLIENDA SECUNDARIA	83
3.2.3 TAMIZADO DE PUZOLANA.....	84
3.2.3.1 PROCEDIMIENTO.....	85
3.3 PROCESO DE FABRICACION DE LAS PLACAS	87
3.3.1 MEDICION DE HUMEDAD DE MATERIAS PRIMAS	87
3.3.2 FORMULACIONES	90
3.3.3 MEZCLADO Y HUMECTACION	111
3.3.4 EXTRUSION.....	113
3.3.5 PREMOLDEADO	116
3.3.6 MOLDEADO Y PRENSADO.....	117
3.3.7 SECADO	124
3.3.8 CALCINACION.....	127
3.4 EVALUACIONES	130
3.4.1 DENSIDAD	130
3.4.2 ABSORCION.....	131
3.4.2.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS.....	131
3.4.2.2 PROCEDIMIENTO.....	132
3.4.3 CONDUCTIVIDAD TERMICA (λ).....	134
3.4.3.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS.....	138
3.4.3.2 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE MEDICION.	140
3.4.3.3 PROCEDIMIENTO.....	141
3.4.4 RESISTENCIA MECANICA (COMPRESION).....	142
3.4.4.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS.....	142
3.4.4.2 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO.	144
3.4.4.3 PROCEDIMIENTOS.....	145
4.0 CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION	147
4.1 PROCESABILIDAD DE LAS COMPOSICIONES ARCILLA / PUZOLANA.	147
4.2 INFLUENCIA DE LA PRESION EN LA DENSIDAD DE LAS PROBETAS.....	148
4.3 INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE LA PUZOLANA SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA MASA CERAMICA.....	148
4.3.1 DENSIDAD.	148
4.3.2 ABSORCION.	150



ESTUDIO, CARACTERIZACION Y EVALUACION
DE PUZOLANAS LOCALES EN LA MASA CERAMICA DEL LADRILLO



4.3.3 CONDUCTIVIDAD TERMICA.....	153
4.3.4 RESISTENCIA MECANICA (COMPRESION).....	155
4.4 INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PUZOLANA SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA MASA CERAMICA.	158
4.4.1 DENSIDAD	158
4.4.2 ABSORCION.	160
4.4.3 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.	162
4.4.4 RESISTENCIA A LA COMPRESION.	164
CONCLUSIONES	166
BIBLIOGRAFIA	167
GLOSARIO	169
ANEXO	173



INTRODUCCION

En el mundo existen muchos países que son altamente volcánicos, como por ejemplo; Italia, México, Guatemala, El Salvador, etc.

Chile pertenece también a este grupo, siendo un país que posee una marcada y extensa cordillera en donde se alojan volcanes tales como el volcán Parícuta, volcán Llaima, volcán Antuco y volcán Lonquimay, entre otros.

Si bien es cierto que la historia registra grandes tragedias producidas por erupciones volcánicas, como lo ocurrido el año 79, al sur de Italia, que tras la erupción del Vesubio quedaron sepultadas las ciudades de Pompeya, Herculano y Stabias, se debe mencionar que dichas erupciones además de emitir gases, que en su mayoría son tóxicos, hacen florecer otros elementos como lava, escorias y cenizas. Dentro de éstos se encuentra la pumicita, a la que los italianos llamaron “**puzolana**”, material que como ya se ha dicho, es de origen volcánico y que en estado natural se encuentra meteorizada conformando tobas. Ésta se ocupa desde tiempos muy antiguos, mezclándola con otros materiales para ser aplicados en la construcción.

En la actualidad la puzolana es utilizada principalmente por la industria del cemento en la fabricación de cementos puzolánicos. En éstos, ha llegado a reemplazar alrededor del 35% del clínker con notables beneficios sobre la aplicabilidad, durabilidad y resistencia mecánica de morteros y hormigones.

En la base del éxito alcanzado por las puzolanas en la industria cementera se encuentran sus propiedades físico-químicas particulares o elevada porosidad y gran reactividad química de su componente fundamental, la sílice.

De las abundancia de las puzolanas en Chile así como de sus propiedades físico-químicas particulares, ha surgido esta investigación que propone evaluar el potencial de la puzolana en la fabricación de otros materiales de construcción tales como el ladrillo.



HIPOTESIS

La incorporación de puzolana a la masa cerámica, debería permitir la obtención de ladrillos con propiedades térmicas y/o mecánicas mejoradas, dependiendo de la porosidad y reactividad química del material en proceso de meteorización.



OBJETIVO GENERAL

Investigar los beneficios de la incorporación de puzolana a la masa cerámica del ladrillo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar información de las puzolanas del medio local.
- Caracterizar las puzolanas disponibles localmente para aplicaciones industriales. Estudio de propiedades físicas, químicas y otras.
- Revisión de aplicaciones de puzolanas en el ámbito de la producción de ladrillos cerámicos.
- Diseñar, Especificar y Producir pasta cerámica con puzolana.
- Evaluar los efectos de la puzolana local sobre las propiedades térmicas y/o mecánicas del ladrillos.



1.0 CAPITULO I EL LADRILLO



1.0 CAPITULO I : EL LADRILLO

1.1 GENERALIDADES DEL LADRILLO

1.1.1 DEFINICION DE LADRILLO

Entre los productos de arcilla que se obtienen a través de cocción, comúnmente conocidos como cerámicas, se encuentra el denominado ladrillo, el cual está morfológicamente definido como un paralelepípedo rectangular, manufacturado con una mezcla porosa. Esta fue primitivamente fabricada en forma artesanal y aunque hoy persiste esta técnica en algunos talleres, es en la actualidad derivado principalmente de ciclos productivos industriales, adecuadamente eficaces para la construcción.

La materia prima principal utilizada para la producción de ladrillos es la arcilla, la cual esta constituida estructuralmente en base a sílice, alúmina y agua, y además cantidades variables de hierro y otros materiales alcalinos. Las partículas de estos materiales son capaces de absorber higroscópicamente hasta el 70% en peso, de agua. Debido a esta característica, es que la arcilla, que en estado seco presenta un aspecto terroso, hidratada adquiere la plasticidad necesaria para ser moldeada.

Durante la fase de endurecimiento (mediante secado o cocción), el material arcilloso adquiere características de notable solidez, con una disminución de masa (de alrededor de 5 a 15%) en proporción a su plasticidad inicial. De todos modos en este documento se detalla más sobre las propiedades y características de las arcillas.



1.1.2 SITUACION NORMATIVA DEL LADRILLO EN CHILE

Las características de los ladrillos cerámicos están reguladas por diversas normas chilenas.

Los requisitos que deben cumplir los ladrillos arcillosos destinados al empleo en construcciones están contenidos en NCh169.Of2001: Ladrillos cerámicos - Clasificación y requisitos. A su vez, los métodos de ensayo para verificar estos requisitos, se encuentran establecidos en NCh167.Of2001: Construcción - Ladrillos cerámicos - Ensayos, y, en la NCh168.Of2001: Ladrillos cerámicos - Comprobación de forma y dimensiones.

Algunas de las características definidas en NCh169.Of2001, son complementadas por las normas de diseño. Por ejemplo, por NCh1928.Of93: Albañilería Armada - Requisitos para el diseño y cálculo y NCh2123.Of97: Albañilería confinada - Requisitos para el diseño y cálculo. Ambas normas fueron revisadas el año 2001 y 2002, con el fin de uniformar criterios de acuerdo a las modificaciones realizadas sobre las normas de materiales.

La NCh169.Of2001 establece la clasificación y los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos de fabricación industrial (hechos a máquina), que se utilizan en la construcción de viviendas, edificios y obras civiles en general. No se aplica a los ladrillos cerámicos artesanales (hechos a mano), cuya clasificación se detalla en la NCh2123.

En el punto 1.3 de este capítulo se detalla la clasificación de los distintos tipos de ladrillos cerámicos.



1.2 MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA FABRICACION DEL LADRILLO

Las materias primas empleadas en la masa cerámica son materiales principalmente arcillosos.

Dichos materiales, como las arcillas plásticas, arcillas magras y feldespatos son compuestos a base de sílice y alúmina, principalmente.

En el caso experimental de este trabajo se emplearon como materias primas, arcilla y caolín, provenientes de la ciudad de Santiago (Ladrillos Princesa), además del aditivo en estudio, puzolana, proveniente de la misma ciudad (Cementos Polpaico).

A continuación se explica lo que son básicamente estos elementos.

1.2.1 LAS ARCILLAS

Desde el punto de vista geológico las arcillas son minerales naturales que se formaron hace varios millones de años y que reúnen las características peculiares de composición y formación relacionadas con el curso de la evolución de la Tierra, y siendo más específico se puede decir que son sedimentos geológicos que provienen de la descomposición de rocas ricas en sílice y alúmina, principalmente de feldespato, inducida por los agentes atmosféricos (agua, energía luminosa, vientos, etc.). Pues bien, esta no es la única definición de este material, sino que también tiene otras, como se muestra a continuación.

Definición:

Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 0.002 mm, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados.



Los sedimentos referidos en la definición anterior son aquellos minerales naturales que se han depositado en los lechos de lagos y mares por la acción de arrastre de los ríos.

Con la ayuda de un microscopio electrónico, con el que es posible alcanzar una amplificación de unos quince mil aumentos, se observa una hojuela con los bordes curvados hacia arriba, tal y como se muestra en la foto. Esta hojuela se asemeja a las placas de barro en un suelo seco, contraído y agrietado por el Sol.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 0.002 mm.

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.



1.2.2 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE LAS ARCILLAS

La arcilla forma parte del suelo fino, que es la fracción que pasa por el tamiz de 0,42 mm.

Una lámina de arcilla no se puede medir a simple vista, para esto se ocupa el microscopio electrónico, que suministra los medios para poder medir el espaciado entre los planos atómicos, es decir, el espesor de la lámina. Las distancias así medidas se expresan en Angstroms (A). El espesor de una lámina va desde 5.05 A, la lámina de sílice, a 4.93 A, la lámina de alúmina.

Todas las arcillas están compuestas de minerales arcillosos, la difracción de rayos X, ha hecho posible el análisis detallado de arcillas individuales y el estudio de los diferentes tipos de minerales arcillosos.

Estos consisten en silicatos de aluminio, acompañados o no de silicatos de hierro y magnesio. Algunos contienen elementos alcalinos como componentes esenciales.

Ciertos materiales arcillosos pueden ser amorfos, pero no son componentes significativos de las arcillas normales ya que la mayoría de los minerales arcillosos tiene estructuras foliáceas.

Las características de estas formas cristalinas son el factor más influyente sobre las propiedades físicas de una arcilla.

Los principales minerales arcillosos son:



1.2.2.1 LA CAOLINITA.

($H_4 Al_2 Si_2 O_9$). Estas son arcillas muy estables a causa de su estructura inexpandible, se opone a la introducción de agua en sus retículos y al consiguiente efecto desestabilizador de ésta. Son moderadamente plásticas. No presentan cuando se saturan, gran expansión o hinchamiento, por su poca capacidad de retener cantidades importantes de agua. Por lo mismo, este tipo de arcilla es muy difícil de identificar como tal. Su densidad es del orden de 2.6 a 2.68.

1.2.2.2 LA ILITA.

($OH_4 K (Si_{8-y} Al_y) (Al_4 Fe_4 Mg_4 Mg_6) O_{2-y<2}$). Este tipo de arcilla presenta cierta fricción interna. Su hinchazón es mayor que las Caolinitas, pero mucho menor que las Montmorillonitas. Su densidad es del orden de 2.64 a 3.00.

1.2.2.3 LA MONTMORILLONITA.

(OH)₄ Si₈ Al₄ O₂₀ nH₂O. Su densidad es del orden de 2 a 2.2

La Montmorillonita, se compone de idénticas unidades conjuntas, constituidas por una lámina octaédrica de alúmina entre dos láminas tetraédricas de sílice. La ligazón entre láminas es más bien laxa, por lo que este tipo de arcilla resulta inestable, especialmente en presencia de agua. Las moléculas de agua atraídas se insertan con facilidad entre ellas causando hinchamiento o expansión.



1.2.3 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas.

Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 0.002 mm)
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Las arcillas poseen cualidades muy interesantes y complejas como:

1.2.3.1 PLASTICIDAD.

La arcilla en polvo se toma plástica a medida que se le añade agua, pasando por un máximo, y luego disminuye su plasticidad al formarse una suspensión que separa demasiado las laminillas de su estructura cristalina. El que la arcilla sea más o menos plástica, depende de que tipo de arcilla se trate.

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.



Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

1.2.3.2 INESTABILIDAD DE VOLUMEN.

Las arcillas admiten del 15 al 50 % de agua. Al eliminarse lentamente, el agua agregada, por desecación la masa experimenta una contracción que puede sobrepasar el 9 % lineal y el 26 % cúbica. Esto se debe al hinchamiento que le produce la presencia de agua. Por ejemplo, un bloque de arcilla plástica se agrieta al desecarse por una razón de tipo mecánico. La pérdida de agua no se produce de manera uniforme, desde la totalidad de su masa, porque la arcilla mojada es impermeable e impide la salida del agua desde su núcleo central. Por ello la desecación, con su consiguiente retracción, se produce primero en las capas superficiales y como el núcleo mantiene su volumen todavía invariable, se produce la ruptura de la superficie por tracción en forma de grietas.



Es por ello que para la confección de ladrillos, es conveniente que la mezcla contenga otro material aparte de la arcilla. Por ello las fábricas utilizan generalmente, lo que llaman polvo de roca, pero en realidad utilizan arena fina u otro material granular apropiado, para aumentar la permeabilidad, y se posibilite un secamiento más uniforme y sin agrietaduras.

1.2.3.3 SUPERFICIE ESPECIFICA.

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

1.2.3.4 COHESION INTERNA.

Cuando la fuerza normal entre dos partículas se anula y puede medirse aún una resistencia al deslizamiento, se dice que existe una cohesión. Las arcillas son laminillas cargadas eléctricamente y que por ello atraen partículas de agua para neutralizar su carga eléctrica natural.

La cohesión interna se debe a la acción de los geles coloidales que hacen el papel de adhesivos, determinando la aparición de fuerzas de atracción entre las partículas o micelas de arcilla.



1.2.3.5 CAPACIDAD DE ABSORCION.

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar o en los canales estructurales.

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

1.2.3.6 TRANSFORMACION POR MEDIO DE CALOR.

Durante la cocción de las materias arcillosas, se producen transformaciones físico -químicas, comenzando por la eliminación del residuo de humedad que rodea las partículas, la ignición de la materia orgánica, para continuar luego, con el desprendimiento del agua químicamente combinada, lo que modifica radicalmente sus propiedades, hasta adquirir dureza, cohesión y sonoridad a la percusión, y lo que es más importante, una completa estabilidad.



1.2.3.7 HIDRATACION E HINCHAMIENTO.

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

1.2.3.8 TIXOTROPIA.

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.



1.2.4 LOS DESENGRASANTES

Las materias primas ricas en arcilla (materiales grasos) permitirían en principio obtener elevadas características de calidad de los productos.

Sin embargo las dificultades que presentan las arcillas demasiado plásticas se encuentran en los procesos productivos, se debe disponer de un cierto margen de error, tanto por la inconstancia de la materia prima como por las normales deficiencias organizacionales y funcionales. Se requieren materias primas de más fácil comportamiento.

Los desengrasantes están constituidos generalmente por gránulos que permanecen inertes en la fase de secado y que reaccionan en la fase de cocción con la masa formando nuevos componentes, aquí por ejemplo encontramos el caolín.

1.2.4.1 CAOLINES Y ARCILLAS CAOLINIFERAS.

Un caolín es una roca que contiene una cierta proporción de minerales del grupo de caolín, que puede ser económicamente extraída y concentrada. Se trata, generalmente, de una arcosa o arena caolínifera, granito o gneis caolinitizado, que es necesario procesar para enriquecer en minerales del grupo del caolín.

La arcilla caolinífera es también un caolín en sentido amplio. Igualmente, se trata de una arcilla compuesta, fundamentalmente, de minerales del grupo del caolín. Esta no se procesa, se usa tal cual, e inicialmente los porcentajes en minerales del grupo del caolín son más altos que en el caolín (>50%). Cuando el caolín se usa para cerámica blanca recibe la denominación de China Clay.

El caolín, tal como se obtiene en una explotación mineral (caolín bruto/todo uno) posee un contenido variable de caolinita y/o halloysita que, a veces no llega al 20 %, además suele tener cuarzo, feldspatos, micas, y, dependiendo de la roca madre otro tipo de minerales accesorios.



Para concentrar el mineral es preciso someterlo a diferentes procesos que eleven el contenido en filosilicatos por encima del 80 %. El producto final, generalmente, recibe el nombre de caolín lavado.

Como la caolinita tiene un tamaño de partícula muy pequeño, el lavado de las fracciones groseras conduce a un material con alto contenido en caolinita. Es evidente que cuanto mayor sea el contenido en fracciones finas del caolín bruto, mayor será también el porcentaje en caolinita. Un caolín comercial de alta calidad a penas deberá tener partículas superiores a las 20mm, lo que garantizaría una riqueza en caolinita superior al 80%.

1.3 TIPOS DE LADRILLOS CERAMICOS

Estos se clasificarán según su proceso de producción, en los tipos siguientes:

1.3.1 TIPO I “LADRILLOS CERAMICOS A MAQUINA”

Ladrillos producidos mediante procesos industriales con maquinarias que amasan, moldean y presan la pasta de arcilla para lograr un mejor producto final.

1.3.2 TIPO II “LADRILLOS CERAMICOS A MANO”

Ladrillos producidos por medios artesanales, amasados a mano o con maquinaria elemental que no prensa la pasta de arcilla.



1.4 CLASES DE LADRILLOS CERAMICOS

Su clasificación será según sus características estructurales en las clases que se indican a continuación.

La nomenclatura utilizada será:

- Mq = Ladrillo hecho a Máquina
- Mn = Ladrillo hecho a mano

1.4.1 LADRILLOS MACIZOS HECHOS A MAQUINA (MQM).

Son ladrillos del tipo I, compactos en toda su masa de las dimensiones que se establecen en la tabla 2 de norma NCh168 of 71. Admitirán perforaciones perpendiculares a sus caras mayores tales que:

- a) El volumen total de ellas sea inferior o igual al 5 % del volumen del ladrillo.
- b) La Superficie de una sección transversal de cada perforación individual será inferior o igual a 6 cm² y el eje mayor de la sección transversal coincidirá con el eje longitudinal del ladrillo, debiendo quedar sus lados a lo menos a 50 mm de distancia del borde exterior del ladrillo y a 30 mm entre sí.

1.4.2 LADRILLOS PERFORADOS HECHOS A MAQUINA (MQP).

Son unidades del tipo 1 de las dimensiones que se establecen en la tabla 2 de la norma NCh168 of 71. y que tienen perforaciones en su masa perpendiculares a las caras mayores tales que:



- a) El volumen total de ellas es superior al 5% e inferior o igual al 45% del volumen del ladrillo.
- b) El área transversal de cada perforación individual, será inferior o igual a 6 cm².
- c) El espesor de la cáscara de las caras del ladrillo, será igual o superior a 10 mm.
- d) El espesor de los tabiques que separa las celdas interiores del ladrillo, será igual o superior en cualquier sentido.

1.4.3 LADRILLOS HUECOS HECHOS A MAQUINA (MQH).

Son unidades del tipo 1, de las dimensiones que se establecen en la tabla 2 de la norma NCh168 of 71, que admiten huecos paralelos a cualquiera de sus aristas, tales que:

- a) El volumen total de ellos es superior al 45% del volumen total del ladrillo.
- b) La cáscara del ladrillo tendrá un espesor igual o superior a 10 mm en cualquier cara y los tabiques interiores serán de espesor igual o superior a 5 mm en cualquier sentido.
- c) El área transversal de cada hueco individual será igual o inferior a 20 cm².

Los ladrillos de esta clase pueden ser:

- a) MqHh: ladrillos con huecos horizontales, son los que tienen los huecos paralelos a la cara de apoyo del ladrillo.
- b) MqHv: ladrillos con huecos verticales; estos tienen los huecos dispuestos perpendicularmente a la cara de apoyo del ladrillo.



1.4.4 LADRILLOS HECHOS A MANO (MNM).

Son ladrillos del tipo II, de las dimensiones que se establecen en tabla 2 de la norma NCh168 of 71. Deben ser solo macizos en la totalidad su masa, sin ninguna perforación ni hueco.

1.5 GRADOS DE LADRILLOS CERAMICOS

Se clasifican desde el punto de vista de sus características y requisitos generales, en los grados que se indican a continuación:

1.5.1 GRADO 1

Son de resistencia y durabilidad alta, que cumplen con las características y requisitos que se indican en la norma NCh168 of 71. En general se consideran aptos para un buen desempeño en condiciones de servicio extremas.

1.5.2 GRADO 2

Son de resistencia y durabilidad moderadas que cumplen con las características y requisitos que se indican en la norma NCh168 of 71. En general se consideran aptos para un desempeño adecuado en condiciones normales.

1.5.3 GRADO 3

Son de resistencia y durabilidad regular que cumplen con las características y requisitos que se indican en la norma NCh168 of 71. En general, se consideran aptos para un desempeño aceptable en condiciones de servicio normales.

1.5.4 GRADO 4

Son de resistencia y durabilidad baja, que cumplen con las características requisitos que se indican en la norma NCh168 of 71. En general se consideran aptos sólo para desempeño satisfactorio en condiciones de servicio de exigencias mínimas o sin exigencias.

Tabla 1 “Características de los ladrillos cerámicos”

Requisitos mecánicos	Grados de ladrillos cerámicos						
	1		2		3		
	Clase de ladrillos cerámicos						
	MqM	MqP	MqH	MqP	MqH	MqP	MqH
Resistencia a la compresión, mínima (MPa)	15	15	15	11	11	5	5
Absorción de agua, máxima %	14	14	14	16	16	18	18
Adherencia, mínima (MPa)	0,4	0,4	0,4	0,35	0,35	0,30	0,25

1.6 ABSORCION DE AGUA

La absorción de agua máxima para los distintos grados de ladrillos cerámicos, se indican en Tabla 1 de la norma NCh169of 2001.

El ensayo de absorción de agua de los ladrillos cerámicos se realiza según NCh 167of54.



Tabla 2: “Características de los ladrillos cerámicos”

CLASES DE LADRILLOS CERAMICOS							
	Grado 1			Grado2		Grado3	
	MqM	MqP	MqH	MqP	MqH	MqP	MqH
Absorción de agua, máxima %	14	14	14	16	16	18	18

1.7 PROCESO DE FABRICACION DEL LADRILLO

Aunque existen varios sistemas para la elaboración de ladrillos, estos se resumen principalmente en dos;

- Proceso de fabricación de ladrillos por vía seca.
- Proceso de fabricación de ladrillos por vía semi húmeda.

1.7.1 PROCESO DE FABRICACION DE LADRILLOS POR VIA SECA

Referente al proceso de fabricación por vía seca, hay que aclarar que sólo es viable económicamente siempre y cuando la materia prima esté en un estado de humedad inferior al 10%. Esto para permitir la utilización de un verdadero y propio molido en seco.

La principal ventaja de este método es la obtención de material fino muy superior al de cualquier otro método, lo que lleva a realizar con una materia prima de una calidad baja; productos de calidad.



1.7.1.1 MATERIA PRIMA.

La materia prima tiene que estar a una humedad inferior al 10% para poder ser molida eficientemente. Este punto es crítico ya que no se puede ni pensar secar esta, por el costo prohibitivo que significaría.

La calidad de la materia prima puede ser inferior en cuanto a sus propiedades respecto a otros métodos.

1.7.1.2 MOLIENDA.

La molienda esta a cargo de dos maquinas; la primera un molino de rulos, y la segunda un molino de bolas.

El molino de rulos estará a cargo de moler grano pequeño, mediano y grande, mientras el molino de bolas se encargara de la molienda del material impalpable.

En este punto se debería incorporar a la masa cerámica el aditivo, para que este se homogeneizara perfectamente. De lo contrario podríamos tener efectos adversos en el prensado, por una mala distribución granulométrica.

1.7.1.3 HARNEADO Y CLASIFICACION.

El harneado se produce generalmente a través de harneros rotatorios los que harnean y clasificar inmediatamente, enviando el material a los silos correspondientes.



1.7.1.4 DOSIFICACION GRANULOMETRICA.

La dosificación granulométrica es muy importante en este proceso, ya que no hay un ligante (agua en otro método) que una las partículas. Su única unión será por presión, por lo cual solo una correcta y homogénea curva granulométrica tendrá los resultados deseados.

Sin duda en este punto hay que tener un gran control, ya que de lo contrario el producto puede tener serios problemas en los siguientes procesos.

1.7.1.5 PRENSADO EN SECO.

Como su nombre lo dice este proceso está a cargo de prensas que pueden ser del tipo hidráulicas o mecánicas, de grandes dimensiones, y que generan grandes presiones que incluso llegan a los 5000 kg/cm². Es donde el material toma la forma de un ladrillo.

Con este método de prensado en seco se obtienen medidas muy precisas como consecuencia de las menores variaciones de volumen debido a la falta de contracción en secado.

1.7.1.6 SECADO.

El secado se hace básicamente en una cámara secadora, donde se extrae casi la totalidad de humedad que contiene el material. El tiempo que necesita para esta operación es de alrededor de 8 horas, dependiendo del rendimiento y el tipo de secador.



1.7.1.7 COCCION.

Existe una gran gama de hornos para la cocción del producto, sin embargo los hornos tipo túnel, ya sean continuos o discontinuos, son los que mejores resultados presentan con respecto al consumo de combustible y calidad del producto.

La cocción del ladrillo se realiza con una curva de temperatura lo más regular posible, y con un tiempo promedio (dependiendo del tipo de horno) de alrededor de 24 horas.

1.7.1.8 EMBALAJE.

A la salida del horno, los ladrillos son colocados en pallets para su futura comercialización.

1.7.2 PROCESO DE FABRICACION DE LADRILLOS POR VIA SEMI HUMEDA

Este proceso es el más usado a nivel mundial para la fabricación de la ladrillos cerámicos, sin embargo este hecho no significa que sea sencillo o el más económico, pero es el que se adapta mejor a las condiciones naturales de la materia prima.

1.7.2.1 MATERIAS PRIMAS.

Al lado de las fabricas se depositan a menudo grandes cúmulos de materiales y la cantidad que se acumula debe ser suficiente para muchos meses de producción y en el mejor de los casos para todo el año. La forma de trasladar y movilizar esta



materia prima es generalmente realizada por una retroexcavadora, dependiendo de los volúmenes.

En Chile la industria Princesa extrae la materia prima del mismo lugar de la planta lo que lógicamente permite una economía en un ítem muy importante.

1.7.2.2 DOSIFICACION

Para esto existe una dosificadora llamada cajón alimentador o dosificador. El Cajón Dosificador es un recipiente metálico que deja caer de a poco los terrones de arcilla hacia una cinta transportadora que los introducirá a la siguiente etapa de molido.

La principal función del cajón dosificador es la de hacer independiente el funcionamiento de las máquinas que trabajan en el inicio del proceso, funcionando como pulmón en el caso de pequeñas y frecuentes paradas de alguna de ellas.

En el caso de la empresa princesa una draga toma la arcilla que permaneció varios meses, y por medio de cintas transportadoras la lleva a un cajón dosificador. Esta draga "extrae" en forma vertical de la cuña, homogeneizando el material que fue depositado horizontalmente.

Otro Cajón Dosificador es llenado mediante un cargador frontal con otra materia prima: El desengrasante.

Ambos cajones dejan caer los componentes en la proporción requerida, teniéndose además, especial cuidado en su calidad, humedad y homogeneidad. La proporción que se utiliza específicamente en Industria Princesa es de 80% arcilla y un 20% de desengrasante.



1.7.2.3 MOLIENDA.

Las máquinas de reducción de las dimensiones de los materiales arcillosos tienen formas y acciones muy diversas.

Algunos poseen una función secundaria, pero importante como la eliminación de impurezas (piedras grandes, madera, raíces).

En industrias europeas de gran envergadura las maquinas que en este proceso se utilizan (pueden haber variaciones) son las que a continuación se muestran, sin embargo no todas son indispensables, pero sin duda afectan la calidad del proceso y del producto final.

- Desterronadora o desmenuzadora: su función es destrozarse, chocar con el material y hacer un aplastamiento primario al material.
- Laminador separador de piedras: Como su nombre lo dice separa las piedras. Este proceso también se puede realizar con una malla bajo el desterronador pero lógicamente, con menos eficiencia.
- Trituradora fragmentadora: esta tiene como función el resquebrajamiento por presión, de corte y de extrusión debido a su paso por las rejillas.
- Molino de rulos: su función es amasar y homogeneizar el material. Se compone por una rejilla circular y dos muelas que giran aplastando el material y pasándolo por una malla de 15 a 20 mm. En este punto se debería incorporar a la masa cerámica el aditivo, para que este se homogeneizara perfectamente. La incorporación podría ser antes, pero en los procesos anteriores se puede perder mucho de este aditivo, lo que involucraría un costo mayor.

En la empresa Industrias Princesa el proceso en este punto es el siguiente:

Una correa transportadora lleva las materias primas de los Cajones Dosificadores hacia el Molino. Este se encarga de moler el material así como el



agregarle agua, con el fin de conseguir la mezcla húmeda, y la homogeneización necesaria.

Esta máquina está compuesta por un gran recipiente, el cual contiene el material y donde dos ruedas giran constantemente, aprisionando los terrones de arcilla contra el fondo, el cual esta compuesto por un sistema de parrillas perforadas que hacen de cedazo, impidiendo el paso de grandes terrones hacia la etapa siguiente.

1.7.2.4 LAMINACION.

El laminador tiene como principal función el aplastamiento, choque y estiramiento de la masa cerámica.

Estos laminadores son los encargados de reducir aún más la granulometría del material.

El Laminador es una máquina accionada por un motor eléctrico, el cual mueve dos o tres rodillos (dependiendo del equipo), los que giran en sentido contrario, por entre los cuales va pasando la arcilla. La tarea determina que no existan terrones ni partículas mayores a 0,17 mm. de diámetro

Nuevamente, el material con una granulometría más fina y consistencia homogénea, cae a una cinta transportadora la cual lo conduce a la siguiente etapa.

1.7.2.5 ALMACENAJE EN SILOS.

Es donde la materia prima se almacena para su posterior procesamiento. En la fabrica Princesa existen dos silos en la planta. Estos consisten en dos grandes recipientes dentro de los cuales se va vertiendo el material.

Para que el material esté homogéneo desde el punto de vista de la humedad la arcilla está de 24 a 48 horas en los silos. Su permanencia en estos recipientes se



fundamenta en lograr que el material obtenga un grado de homogeneidad adecuado, para su posterior trabajo.

Esto se logra mediante la simple decantación del material, producto de la cantidad del mismo, la gravedad y la forma de los silos (embudo).

1.7.2.6 MOLDEO.

El proceso por el cual la materia prima asume una forma bien determinada se denomina moldeo. La forma de lograr el moldeo es a través del prensado en húmedo o por el proceso de extrusión. Para nuestro caso la forma que nos interesa estudiar es el prensado por la maquina de extrusión.

Durante las operaciones de pre-elaboración la materia prima se reduce a dimensiones diminutas, se lamina y luego se amasa, quedando mucho aire aprisionado en las cavidades que se forman. La introducción del tratamiento de desgasificación, ha permitido mejorar y lograr piezas de grandes dimensiones. Este elemento se le denomina bomba de vacío y forma parte importante, de la maquina de extrusión.

El material que se introduce a la extrusora es húmedo, de plasticidad suficiente para permitir su paso a través de un diafragma perforado (molde). La fuerza necesaria es ejercida por una hélice giratoria en el interior de una envoltura anular.

La hélice tiene como función el transporte, la compactación, la compresión y la extrusión del material. Cuando más grande es la resistencia a la extrusión, mayor debe ser la presión ejercida por la hélice.

Se distinguen en la practica dos intervalos en los contenidos de humedad de las pastas sometidos a extrusión, definidos para pasta húmeda y para pasta semi húmeda.



La primera comprende humedad del 18 al 25%, en esta gama se pueden producir casi todos los manufacturados de ladrillos (ladrillos macizos, huecos, bloques, baldosines, campanas chimeneas, tejas, etc).

La extrusión en pasta semi húmeda, se elige para fabricar ladrillo macizos o perforados con un porcentaje máximo de orificios hasta del 20-25%. La humedad de las pastas varia entre 13 y 16% y los materiales arcillosos empleados proceden frecuentemente de yacimientos de bajo contenido en agua. El método es muy frecuente en Inglaterra, India, Africa y en Estados Unidos.

1.7.2.7 CORTE.

El sistema de corte consiste en parrillas de alambres acerados, cuya distancia entre sí determinará la altura del ladrillo. Un operario vigila constantemente el proceso, eliminando cualquier ladrillo que haya quedado mal cortado. Además, los alambres suelen romperse, debiendo detenerse la línea de producción para ser reemplazados.

El control de calidad de los procesos de extrusión y cortado es bastante importante, pues determinan directamente las características de diseño y terminación del producto final.

Los sistemas diseñados para las cortadoras permite biselar los cantos del ladrillos, logrando de ésta manera una presentación mejorada de las caras a la vista, evitando la formación de "rebarba".

Estas máquinas reciben el nombre de cortadora múltiple, el cual deriva de la cantidad de unidades que puede cortar.

Una serie de pinzas neumáticas transportan en forma aérea las unidades cortadas hasta una correa transportadora, evitando el menor contacto posible del ladrillo húmedo en su cara de apoyo, para así lograr la mejor terminación de ambas caras.



1.7.2.8 SECADO.

Al no poderse apilar los ladrillos unos sobre otros, pues su humedad es bastante alta y el ejercicio de la más mínima presión los deforma, una correa transportadora los conduce a una máquina que los va ordenando en bandejas. Los ladrillos quedan de canto para mejor secado y ocupación de la capacidad total de las bandejas.

Al llenarse una bandeja, un ascensor hidráulico las coloca en un módulo (carro de secado) de varios pisos, el cual se desplazará sobre rieles para posteriormente seguir en el proceso de secado.

Toda la faena está controlada electrónicamente para el rápido ordenamiento de los ladrillos, así como el avance de los módulos por los rieles sin perder espacio ni tiempo.

Siempre existen operarios que controlan y supervisan los procesos, eliminando cualquier elemento de calidad defectuosa y regulando los avances o detenciones de la línea.

En la cámara de secado, la humedad generalmente alcanza el 100% y las temperaturas van de la ambiente hasta los 100 o 120°C

Este es sin duda el punto crítico de la fabricación del ladrillo. Es el real "cuello de botella" dentro del proceso productivo, pues funciona a máxima capacidad de producción, las 24 horas durante todo el año, determinando el ritmo de otras faenas, o su eventual detención.

Los ladrillos, apilados en bandejas, son llevados por un sistema de rieles hacia la cámara de secado.

Esta consiste en un espacio cerrado, con dos puertas de entradas por un extremo, y dos de salida por otro, que se abren y se cierran a medida que entran los módulos con bandejas de ladrillos "en verde" (recién cortados). Estos van quedando unos al lado de otros, los que avanzan a una velocidad determinada dentro de la



cámara de secado, cuyo fin es reducir en forma gradual el contenido de humedad de los ladrillos, de manera que no se produzcan fisuras o grietas.

Para este proceso es necesario que las bandejas permanezcan de 48 a 60 horas en la secadora, para posteriormente ser conducidas a la cocción.

El aire que interviene en el secado es traído del enfriamiento de los hornos, por un sistema de tuberías recubiertas con material aislante que asegura el máximo aprovechamiento del mismo.

1.7.2.9 COCCION.

El término cocción, utilizado para los productos cerámicos significa, someter las piezas a elevadas temperaturas, para conferirles la resistencia mecánica necesaria para su utilización.

El procesos de secado y especialmente lo que respecta a cocción son críticos. Los tiempos de secado se rigen básicamente por cuanto mayor es el gradiente, mayores resultan las diferencias de contracción entre dos puntos; las diferencias de contracción provocan tensiones de compresión por el lado más húmedo y de tracción por el lado más seco que, si superan los valores de las fuerzas de cohesión, terminan generalmente por fisurar la pieza.

En general los tiempos de permanencia de un ladrillos en un horno de túnel son de alrededor de 20 a 25 horas.

En el proceso de embalaje los carros al salir del horno, son conducidos hacia el patio, donde una grúa horquilla provista de "un apriete" toma los paquetes de ladrillos cocidos y los deposita sobre los pallets de madera, siendo envueltos con plástico para su distribución.



1.8 CONSIDERACIONES EN EL PRODUCTO FINAL

Las consideraciones que hay que tener referente al producto que entregan los dos procesos de fabricación anteriormente mencionados son:

- El producto realizado por vía seca tiene una menor contracción en el secado y en la cocción, lo que nos da un mayor control dimensional respecto a la fabricación vía semi húmeda.
- La presentación de un ladrillo realizado por vía seca es muy superior a uno realizado por vía semi húmeda
- Las formas de un ladrillo fabricado por vía seca son muy limitadas (producido por las limitaciones lógicas de la prensa), en comparación a uno hecho por vía semi húmeda.
- La resistencia mecánica es inferior en un producto fabricado por vía seca, en comparación a uno realizado por vía semi húmeda, en igualdad de condiciones (sobre todo de temperatura de cocción).
- La realización de un producto por vía seca puede parecer más económico, ya que hay un menor costo de secado, pero la cocción de este, tendrá que realizarse a una temperatura más alta para lograr un producto con propiedades similares al que se tendría por vía semi húmeda. En realidad el costo de secar y cocer un ladrillo, es similar en los dos métodos.



2.0 CAPITULO II

LA PUZOLANA



2.0 CAPITULO I: LAS PUZOLANAS.

2.1 ORIGEN DEL TERMINO “PUZOLANA”.

Los griegos y romanos en su afán de construir y crear grandes imperios fueron los primeros en conocer “La cal” con sus propiedades cementicias. A ésta le agregaron materiales naturales que estaban a su alcance, quizás con el objeto de que participasen como áridos (inertes).

El suelo donde florecieron estas civilizaciones tiene una importante cobertura de material piroclástico, obteniendo morteros de alta resistencia y mayor durabilidad, un hecho que llevó al uso casi generalizado de los aditivos volcánicos.

Las más famosas explotaciones de rocas volcánicas estaban principalmente situadas en Pouzzoles (Italia), no lejos del Vesubio, de allí el nombre de **puzolana**.

Puzolana pasa a ser el término genérico de este material, pues de ahí se separan distintos tipos, como lo son la pumicita, piedra pómez, etc..

2.2 DEFINICION DE PUZOLANA.

Las puzolanas se encuentran difundidas en las distintas zonas volcánicas; bien antiguas (texturas porfídicas) o bien modernas (texturas vítreas), y se conocen con distintos nombres: puzolanas (Italia, España, etc.), tierra de Santorín (Grecia), trass (renano, bávaro, rumano, ruso, etc.).

El código ASTM (1992), en la definición 618-78, define: "las puzolanas son materiales silíceos o, que por sí solos posee poco o ningún valor cementante, pero que finamente divididos y en medio húmedo a temperatura ambiente, reaccionan químicamente con la cal, formando un compuesto con propiedades cementantes.



Se emplea básicamente en la industria del cemento como adición al clínker para obtener cemento con puzolanas o como sustitución del contenido requerido de cemento en algún determinado tipo de hormigón.

En términos generales, las puzolanas son materiales de adición, de suma importancia, en la industria del cemento por su capacidad de atrapar la cal libre que queda en el clínker después del proceso de sinterización de las materias primas, reduciendo el calor de hidratación y los costos de producción.

Dicho de otra manera se consideran generalmente como *puzolanas* los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. En tal sentido las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal.

Son, por consiguiente, materiales reactivos frente a la cal en las condiciones normales de fabricación ordinaria de conglomerados (morteros y hormigones).

No se consideran como puzolanas aquellos otros materiales inertes que, en determinadas condiciones extraordinarias de estado físico de división (elevada finura, gran superficie específica), o de reacción (tratamientos hidrotérmicos con vapor de agua a presiones y temperaturas elevadas), pueden dar lugar a compuestos hidráulicos. Así sucede, por ejemplo, con el cuarzo que finamente molido y mezclado con cal forma silicatos cálcicos hidratados por tratamiento en autoclave.

Las puzolanas, dentro de la industria del cemento en la que encuentran extensa aplicación, tienen el carácter de adiciones hidráulicas a diferencia de las escorias, que son materiales hidráulicos latentes, con propiedades cementicias .



2.3 BREVE HISTORIA DE LAS PUZOLANAS.

En la historia de la civilización humana el descubrimiento de los materiales y de las acciones cementantes hidráulicas fue posterior al descubrimiento del fuego y debió ser poco posterior al descubrimiento de la cerámica. Tal descubrimiento, por lo que se refiere a los pueblos mediterráneos, debió pasar de egipcios a griegos y romanos, siendo ampliado y perfeccionado en sucesivas etapas. Por razones de puro azar geográfico y geológico los griegos y romanos, primeros en conocer "la cal", pudieron adobarla con materiales naturales de origen volcánico que tenían tan a mano. Es probable que el primer empleo de estos materiales fuera el de "áridos" en los morteros de cal, es decir, el de inertes. La observación debió hacer el resto, y de la comparación de la resistencia y del comportamiento general de los conglomerados hechos con cal y con materiales volcánicos y no volcánicos, surgió la nueva técnica de mezclar los primeros, ya como materiales activos, con la cal, en polvo y en seco o en húmedo, para obtener los que han pasado a la historia como "cementos y morteros romanos", a base de cal y puzolana, o cal, puzolana y arena, respectivamente. Tales materiales fueron la tierra griega de Santorín y las cenizas y tobas romanas de Puzzuoli (o Puteoli), localidad que ha legado el nombre genérico de puzolanas. (Ref. 1)

Las puzolanas forman parte de los cementantes de estructuras antiguas en Egipto, Grecia y Roma. Existen evidencias que muestran su uso en el período de 3000 a 1500 A.C. Los antiguos ingenieros encontraron que el uso de polvo fino de un material natural o molido, podía ser utilizado para hacer cemento, y consecuentemente construcciones de muy alta calidad. Recientes análisis han mostrado que éste cemento fue encontrado en muchas partes de las grandes pirámides con una edad aproximada de 4500 años y que están todavía en muy



buenas condiciones; esto contrasta con las reparaciones de los monumentos egipcios con cemento Pórtland, las cuales se han agrietado y degradado en solamente 50 años. El uso de puzolanas en varios países tiene varias justificaciones, por ejemplo, la principal razón para el uso de puzolanas en los Estados Unidos es el costo, debido a que permite la reducción en el consumo de cemento, sin sacrificar las propiedades básicas del producto final.

Las primeras aplicaciones en civilizaciones antiguas y los usos contemporáneos en Europa, Asia y América han mostrado que las puzolanas son materiales muy útiles.

2.4 CLASIFICACION DE LAS PUZOLANAS SEGUN EL ORIGEN.

Las puzolanas, según su origen, se clasifican en dos grandes grupos: el de las naturales y el de las artificiales, si bien puede existir un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales que se someten a tratamientos térmicos de activación, análogos a los que se aplican para obtener puzolanas artificiales, con objeto de incrementar su hidraulicidad. Estas puzolanas tratadas, activadas o ennoblecidas, si bien naturales en origen, pueden considerarse como artificiales en virtud del tratamiento que reciben. Podrían denominarse puzolanas mixtas o intermedias, por participar de los caracteres tanto de las naturales como de las artificiales.



CLASIFICACION DE LAS PUZOLANAS.

CLASE	CONSTITUYENTE ACTIVO ESCENCIAL	MATERIAL PUZOLANICO
Puzolanas Naturales	1. Vidrio Volcánico. 2. Ópalo 3- Minerales de arcilla. a. Grupo de la caolinita b. Grupo de la montmorillonita. c. Grupo de la iluta. d. Mezclas de arcillas. 4. Ceolitas 5. Óxidos de aluminio hidratados	Ceniza riolítica, toba riolítica, toba dacítica. Diatomita, radiolarita, chert opalino Tobas y pumicitas alteradas, caolín. Pizarras opalinas, bentonita. Arcillas de hidromicas. Silts y arcillas lacustres, depósitos tipo playas Tobas y cenizas ceolíticas Bauxitas
Puzolanas Artificiales	Cenizas volantes (Fly ash). Esquistos bituminosos.	



2.4.1 PUZOLANAS NATURALES.

Los materiales puzolánicos naturales están constituidos principalmente por rocas eruptivas (y en particular efusivas o volcánicas, y dentro de éstas por extrusivas), salvo las de naturaleza orgánica de origen y formación sedimentaria.

Tanto las masas eruptivas como las sedimentarias que en la actualidad constituyen los yacimientos de puzolanas naturales, estuvieron sometidas a lo largo del tiempo a los agentes externos, por lo que, en parte, poseen también la condición de materiales metamórficos.

Las puzolanas naturales incluyen materiales de origen mineral y orgánico y están constituidas por rocas que poseen propiedades puzolánicas intrínsecas y por aquellos materiales en los cuales la actividad puzolánica puede ser inducida mediante tratamientos térmicos.

Las puzolanas naturales generalmente proceden de rocas piroclásticas silíceas o sedimentos sílico-aluminosos, de diferentes grados de litificación, estratificados o masivos.

Los materiales denominados puzolanas naturales pueden tener dos orígenes distintos. Uno puramente mineral, y otro orgánico.

Las puzolanas naturales de origen mineral son productos de transformación del polvo y "cenizas" volcánicas que, como materiales piroclásticos incoherentes procedentes de erupciones explosivas, ricos en vidrio y en estado especial de reactividad, son aptos para sufrir acciones endógenas (zeolitización y cementación) o exógenas (argilización), de las cuales las primeras son favorables y las segundas desfavorables. Por una continuada acción atmosférica (meteorización) se convirtieron en tobas, es decir, en rocas volcánicas, más o menos consolidadas y compactas, cristalinas, líticas o



vítreas, según su naturaleza. En su actividad suele tener gran influencia la estructura física porosa producida por el escape de gases, lo que les confiere una gran superficie interna.

Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundante en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones silícicos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas).

Todas las propiedades de las puzolanas naturales, y en particular aquellas que las hacen especialmente aptas para su aprovechamiento en la industria de los conglomerantes hidráulicos, dependen fundamentalmente de su composición y de su textura, las cuales a su vez están íntimamente relacionadas con su origen y formación.

Por lo tanto, y para dejar bien establecidos tanto éstos como aquéllas, es conveniente recordar algunos conceptos mineralógicos y petrográficos básicos.

Se entiende por mineral toda sustancia inorgánica de composición química definida que se encuentra en la superficie o en las capas mas o menos profunda de la corteza terrestre. (Ref. 1)

Se da el nombre de roca a toda formación de origen natural y carácter inorgánico que no puede atribuirse a una sola especie mineral, sino que constituye aglomerados o conglomerados de individuos minerales distintos.

Por lo tanto, las puzolanas naturales son de origen volcánico. Son productos minerales con características composicionales (silico-aluminosos), estructurales (estructura imperfecta o amorfa) y texturales (grano fino) que los hacen aptos para su uso como aditivos activos en la industria del cemento. Se les utiliza porque contribuyen a la resistencia del cemento; aunque la puzolana sola no tiene propiedades hidráulicas,



combina su contenido de sílice con la cal que libera el cemento al hidratarse, para formar compuestos con propiedades hidráulicas.

En estas rocas volcánicas, el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de la lava. Por ejemplo las cenizas volcánicas, las pómez, las tobas, la escoria y obsidiana.

Rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava, entre estas están:

- Las acumulaciones de cenizas generadas durante las erupciones volcánicas explosivas, que por su alto contenido de materiales vítreos son propensas a sufrir reacciones como las requeridas para las puzolanas. Más tarde por procesos geológicos de enterramiento estas cenizas se convierten en tobas, las cuales son rocas volcánicas bastante porosas, característica que les confiere una gran superficie interna favoreciendo su reactividad, entonces, como puzolana sirve tanto el sedimento como la roca.
- Las rocas y materiales volcánicos en las que hay que considerar dos factores diferentes controladores de la actividad puzolánica; por una parte, la composición química del magma originario que determina la de los productos, y por otra, la constitución y textura de los minerales de dichas rocas, las cuales dependen de la velocidad de enfriamiento y de los procesos de meteorización que los hallan afectado. En las rocas volcánicas son especialmente interesantes las rocas ácidas (ricas en cuarzo y feldespato).
- Rocas o minerales sedimentarios ricos en sílice hidratada y formadas en yacimientos submarinos, por acumulación de esqueletos y caparzones de radiolarios y diatomeas.



- Algunas rocas y minerales no puzolánicos de origen, pero que al descomponerse generan productos de naturaleza puzolánica, los cuales son muy escasos en el mundo.

En general los principales depósitos de puzolanas son de origen volcánico y se explotan de preferencia las rocas ácidas. Sin embargo, se conocen puzolanas constituidas por tobas basálticas alteradas y lavas básicas. Las andesitas pueden ser puzolanas efectivas si el contenido de sílice amorfa excede al contenido de sílice cristalina.

Los depósitos piroclásticos, en especial los de fragmentos finos, normalmente están alterados debido a su alta porosidad inestabilidad de las partículas vítreas y a la alta superficie específica de éstas. La alteración se debe al intemperismo superficial, a la acción de las aguas subterráneas circulantes y comúnmente a la acción de las aguas termales y acción fumarólica.

En las cenizas y tobas la alteración comienza con la desvitrificación del vidrio, originándose un material cripto-cristalino de aspecto turbido. Los resultados finales de esta alteración son comúnmente la formación de bentonita y beidellita, la primera de las cuales es una roca constituida esencialmente de montmorillonita.

La desvitrificación puede efectuarse en forma rápida, como es el caso de los depósitos de avalanchas ardientes, y ocurre mientras las eyecciones están calientes y permeables a los gases volcánicos; el vidrio es reemplazado por agregados micro y cripto-cristalinos de tridimita y sanidina o albita, o bien por intercrecimientos de cristobalita y feldespatos . (Ref. 2)

Como ya se ha dicho anteriormente los vidrios volcánicos son compuestos amorfos de sílice y alúmina que ocurren en una variedad de rocas volcánicas y su composición puede ser básica, intermedia o ácida ; hidratados o anhidros.

La actividad puzolánica intrínseca de los vidrios volcánicos resulta de su estado especial de inestabilidad, la cual es incrementada por un aumento de la superficie



específica, resultado de un sistema de pequeños ductos generados durante un enfriamiento rápido por la liberación de los gases originalmente disueltos en el magma líquido. Este estado de inestabilidad se debería a que en el estado amorfo existe un mayor desorden estructural, lo que significa que los átomos tienen alta energía potencial, con enlaces no saturados.

Esta inestabilidad hace que el vidrio volcánico sea particularmente susceptible a la alteración por efecto de la meteorización; los productos de meteorización normales son mezclas de arcillas o zeolitas.

2.4.2 PUZOLANAS ARTIFICIALES.

Son materiales que deben su condición puzolánica a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta denominación se incluyen los subproductos de determinadas operaciones industriales, entre éstas están:

- Las cenizas volantes, también conocidas como fly ash. En la actualidad son las de mayor peso a nivel mundial en función de las ventajas económicas y técnicas que ofrecen ya que es un material de desecho y los cementos aumentan la trabajabilidad y disminuyen el calor de hidratación porque son muy buenas puzolanas.

Las cenizas volantes se producen en la combustión de carbón mineral (lignito) fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.

Mineralógicamente las cenizas volantes se componen de:

- Sílico-aluminatos vítreo.
- Compuestos cristalinos de Fe, Na, K y Mg entre otros.
- Carbón no quemado

La reactividad de las cenizas volantes como puzolanas depende del tipo y origen del carbón, composición química y mineralógica de éste, del contenido de fase vítrea después de quemado y de la granulometría principalmente.



- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente. Las arcillas naturales no presentan actividad puzolánica a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas del orden de 600 a 900 °C.
- Escorias de fundición: Principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
- Las cenizas de residuos agrícolas: La ceniza de cascarilla de arroz y las cenizas del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineralrico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

2.5 LAS PUZOLANAS EN CHILE Y SUS YACIMIENTOS.

En Chile, se conoce como puzolana al material que se utiliza en la fabricación de cemento puzolánico, nombre que encierra a la ceniza volcánica (o pumicita) y piedra pómez.

Aquí son muy comunes la piedra pómez y la pumicita, la primera se encuentra en masas considerables en las inmediaciones de volcanes apagados.

La pumicita consiste en agregados de granulometría fina, menos de 4 mm., no consolidados. La piedra pómez ocurre bajo la forma de agregados gruesos, mayores de 4 mm o de bloques masivos, de diverso grado de compactación (Liparita). De acuerdo a lo anterior, la diferencia fundamental entre ceniza volcánica y piedra pómez no es genética ni química, ni de estructura vítrea, sino que solamente granulométrica y está relacionada fundamentalmente con diferencias en la intensidad de la erupción volcánica explosiva que genera estos materiales, la que determina la diversidad de tamaños indicada.



Esta diferencia, además, es causa que por lo general, que la piedra pómez se distribuya como acumulaciones no consolidadas, irregulares, en las cercanías del centro efusivo y que la ceniza volcánica, al ser más fácilmente transportable por el viento o el agua, se deposite a mayor distancia del centro eruptivo emisor, en cuencas de variada naturaleza.

La característica vesicular de estos materiales volcánicos está bien ilustrada por su peso específico, menor que 1, comparada con el peso específico 2,5 del vidrio propiamente tal. Los colores son claros, blanco y pardo amarillento, gris amarillento y gris claro, y su dureza varía entre 5,5 y 6,0. (Ref. 3)

En lo que se refiere a los usos, la piedra pómez en el país se utiliza en la fabricación de bovedillas y bloques huecos, para lozas, tabiques, muros, etc., mezclada con cemento o yeso. También se utiliza como material de carga en diversos procesos industriales.

En la actualidad el uso principal de la pumicita está en la fabricación de cementos puzolánicos; también se utiliza en la fabricación de líquidos para pulimentar (tipo Brasso) y otros abrasivos.

Cabe mencionar también, el uso de bloques, con fines ornamentales y de construcción de tobas volcánicas de coloración rosada (conocidas parcialmente como Liparitas), en la zona norte del país, especialmente en Iquique y hacia el interior de esta ciudad. Aunque estos materiales no tienen la misma formación geológica de la piedra pómez, han sido incluidos por tener características físicas similares. En cuanto a estas aplicaciones se profundizará en la segunda parte del presente informe, Seminario II.

Los yacimientos de piedra pómez propiamente tal, sólo han sido explotados en pequeña escala para el consumo local, especialmente como agregado en construcción. Otros usos incluyen abrasivos, fabricación de cosméticos, carga, etc.

Actualmente se están realizando esfuerzos para abrir mercados internacionales para la piedra pómez. Las primeras exportaciones de prueba del producto se han efectuado a Brasil, Puerto Rico y España.



La depositación de la pumicita estuvo relacionada, en general, con cuencas de sedimentación continentales, distribuidas al oeste de dichos centros, hasta donde habrían sido transportadas, principalmente, como flujos piroclásticos. Los depósitos constituyen acumulaciones de ceniza volcánica, de diversos tamaños, con espesores en general sobre 5 m, de formas irregulares que se disponen en discordancia sobre rocas y/o sedimentos más antiguos y comúnmente están libres de sobrecarga.

Debido a su posición estratigráfica, ubicación y estado de compactación del material cinerítico, presentan diferentes grados de interés comercial.

Desde el punto de vista geológico, los depósitos de estos materiales se distribuyen en diferentes ambientes geológicos, relacionados directamente con áreas de intensa actividad volcánica del Terciario Superior o Cuaternario, por cuanto los materiales volcánicos más antiguos tienden a desvitrificarse y a perder sus propiedades.

Los depósitos tienen formas de mantos, con espesores entre 1 y 3 en promedio, interestratificados en secuencias sedimentarias principalmente del Terciario Superior, de cuyo registro geológico forman parte muy común o presentan formas de cuerpos irregulares, de grandes dimensiones y parcialmente cubiertos por sedimentos aluviales que están rellenando cuencas y formas topográficas, de diversa naturaleza, fundamentalmente del Pleistoceno.

En efecto, su depositación se relaciona con cuencas de sedimentación sub-aéreas o sub-acuáticas, marinas y continentales y su transporte ha sido probablemente mixto, con participación de agentes cólicos, fluviales, glaciales y laháricos.

Debido a su bajo peso específico, los materiales más finos pueden ser transportados muy lejos de su fuente de origen por el viento, de manera que pueden encontrarse depositados a varios cientos, o hasta miles de kilómetros de ella. En tanto que los materiales más gruesos, tienden a distribuirse como acumulaciones irregulares en las cercanías del centro efusivo.



En Chile existen numerosas secuencias sedimentarias y volcánicas principalmente cenozoicas que contienen mantos de pumicita de diversos espesores, interestratificados en rocas clásticas y clástico volcánicas.

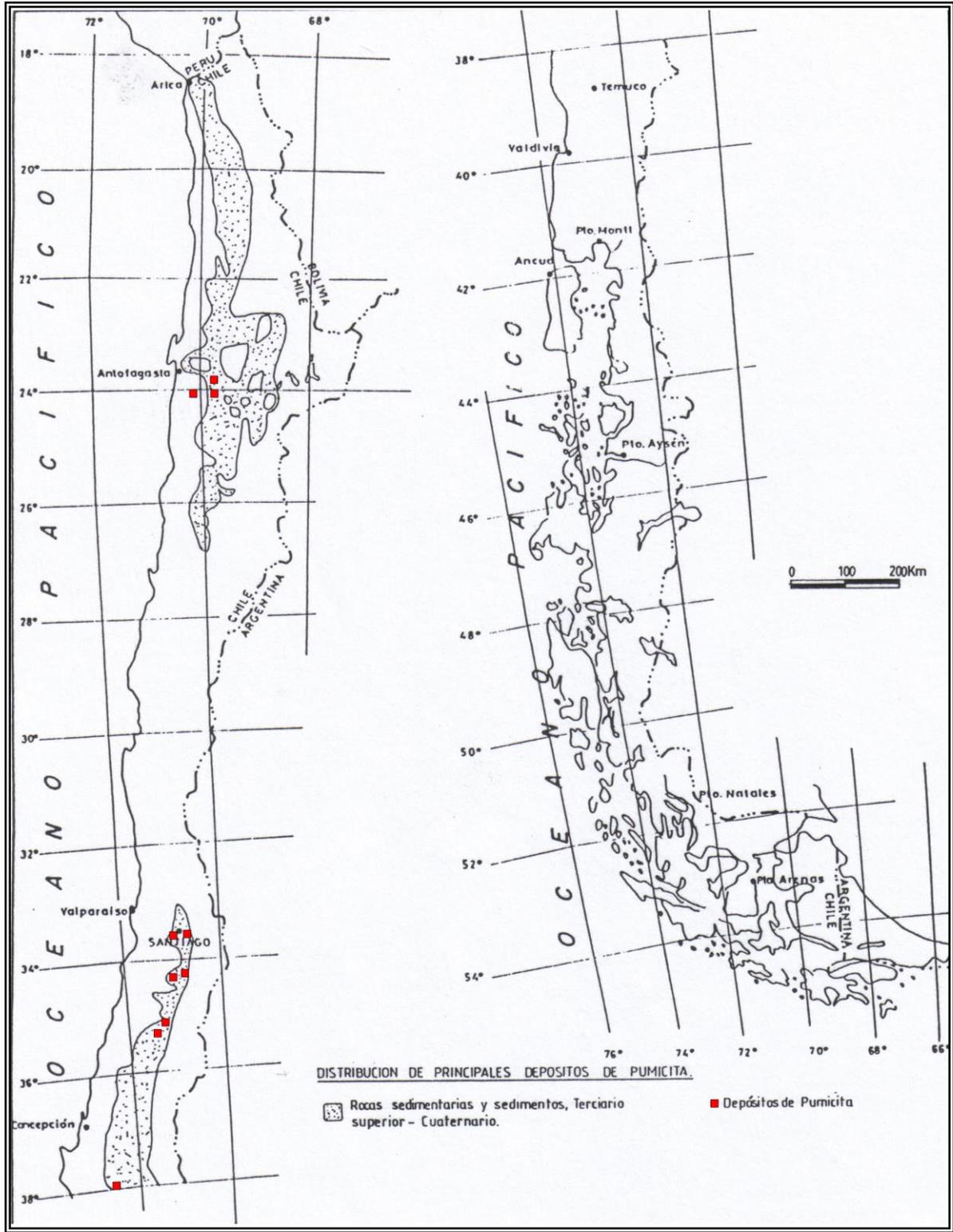
Los depósitos de interés de pumicita se localizan sólo en algunos lugares del país, relacionados genéticamente con la actividad volcánica explosiva, ligada a centros volcánicos ubicados en la Cordillera Andina.

Su depositación estuvo relacionada en general, con cuencas de sedimentación sub-acuáticas o sub-aéreas, continentales, distribuidas al oeste de dichos centros, hasta donde habrían sido transportadas por agentes eólicos y fluviales, principalmente.

Los factores geológicos presentes en la generación de estos depósitos son la actividad volcánica explosiva principalmente riolítico-dacítica; presencia de formas del terreno favorables al transporte y depositación del material; clima adecuado que prevenga la erosión superficial de los depósitos y drenaje reducido que impida la erosión y depositación de materiales extraños sobre la pumicita.

A continuación se muestra un mapa con la distribución de principales depósitos de pumicita en el país, ubicándose los yacimientos en Antofagasta, Santiago y sus alrededores, Curicó, y cercanías a Concepción. Esto no quiere decir que no existan más yacimientos, pues aquí se muestran solamente los principales.

ESTUDIO, CARACTERIZACION Y EVALUACION
DE PUZOLANAS LOCALES EN LA MASA CERAMICA DEL LADRILLO





2.6 CARACTERIZACION DE LAS PUZOLANAS DE ORIGEN VOLCANICO.

2.6.1 COMPOSICION QUIMICA DE LAS PUZOLANAS.

La composición química de las puzolanas, depende del magma original que las forma, pues unas son más ácidas, menos alteradas y menos reactivas, y otras más básicas y alteradas.

En general las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna, radicando su gran diferencia en algo netamente granulométrico. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO_2 reactivo, Al_2O_3 , CaO) sea mayor al 70%, esto orientado a la ocupación en la fabricación de cemento, siendo estos valores favorables para dicho fin.

VALORES DE LA COMPOSICION QUIMICA LIMITE Y MEDIA DE PUZOLANAS DE ORIGEN VOLCÁNICO.

Composición		Valores Límites	Valores Medios
Óxido de silicio	SiO ₂	42 – 85	65
Óxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	5 – 20	12.5
Óxido de Fierro	Fe ₂ O ₃	1 – 14	5
Óxido de Calcio	CaO	0 – 12	3.5
Óxido de Potasio	K ₂ O	0 – 5	2
Óxido de Sodio	Na ₂ O	0 – 5	2
Óxido de Magnesio	MgO	0 – 11	1.5
Trióxido de Azufre	SO ₃	0 - 1	0.5
Pérdida por calcinación	P.C.	0 – 15	6

Las alteraciones químicas, tanto las debidas a factores internos dependientes de los minerales y de la estructura, como las ocasionadas por factores externos dependientes de los agentes de alteración y de los medios ambientales, pueden afectar tanto a los minerales como a las rocas. Los procesos de alteración de los minerales son distintos según su naturaleza, así como también los mecanismos que los rigen. Las alteraciones químicas de las rocas dependen, en cuanto a rapidez e intensidad, de la potencia de los agentes destructores y de la resistencia de la propia roca.



Pero las rocas están sometidas además a desagregación mecánica causada por distintos agentes (erosión, acción del agua, de los ciclos de temperatura, del hielo y deshielo, de los rayos, de los choques, de la insolación, del clima en general, de los procesos biológico, etc.).

2.6.2 PROPIEDADES FISICAS DE LAS PUZOLANAS.

En general las puzolanas naturales son materiales de origen piroclástico como resultado de erupciones volcánicas explosivas, donde los fragmentos, producto de la erupción, son transportados por aire para ser finalmente depositados en la superficie del suelo o el agua. Una vez depositados como materiales incoherentes pueden ser sometidos a procesos de transformación que los llevan a conformar una roca compacta identificada como toba.

Las tobas (materiales compactos) empleadas como puzolana, tienen como primera característica común una alteración importante en sus constituyentes con gran capacidad de transformación.

Las puzolanas se constituyen por una estructura amorfa, es decir no cristalina. Para referenciarlo con otro elemento se puede mencionar el cuarzo, por ejemplo, que es un material netamente cristalino, lo que lo hace altamente duro. No así las puzolanas, que por estar conformadas, como se dijo anteriormente, de manera amorfa las hace ser muy fácil de moler o disgregar. Esta cualidad es una de las que facilita su utilización en la industria del cemento.

La pumicita un tipo de puzolana es un vidrio volcánico de colores claros y de estructura vesicular, que forma parte de un grupo que incluye la ceniza volcánica y la piedra pómez. La primera consiste en agregados de granulometría fina, menos de 4 mm o de bloques masivos, de diverso grado de compactación. De acuerdo a lo

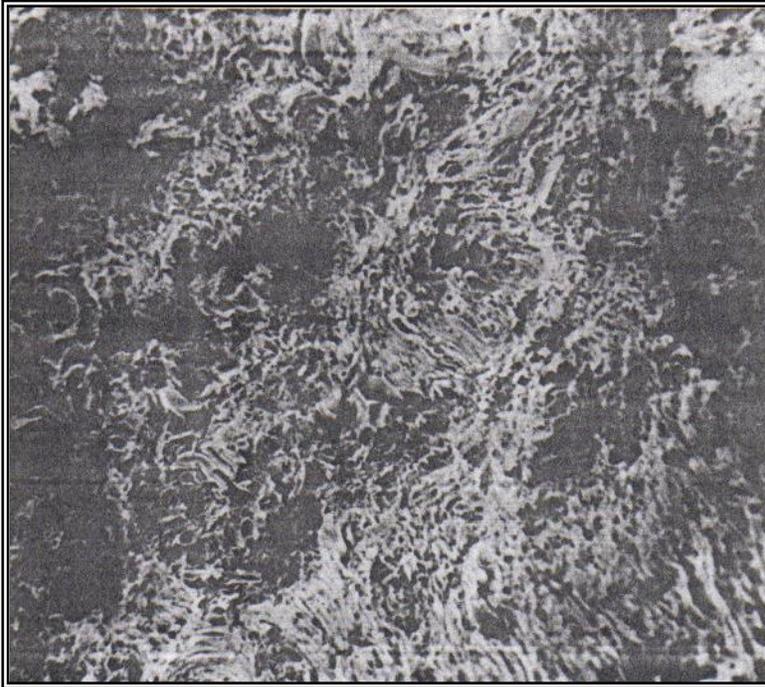


anterior, la diferencia fundamental entre ceniza volcánica y piedra pómez no es genética ni química, ni de estructura vítrea, sino que solamente granulométrica, y está relacionada, principalmente, con diferencias en el tipo y la intensidad de la erupción volcánica que genera estos materiales. Ella, determina la diversidad de tamaños y eventualmente, la ubicación de los depósitos en relación al centro eruptivo emisor.

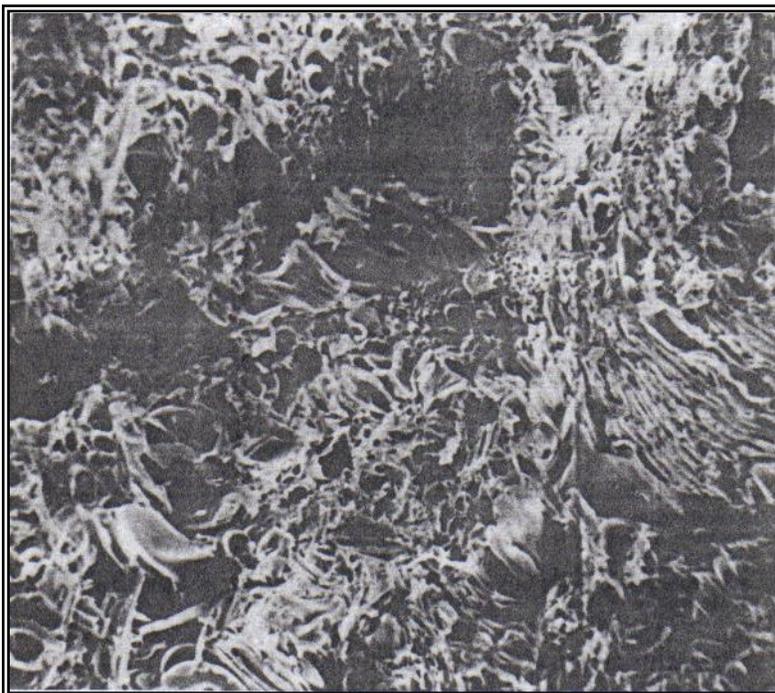
Las propiedades físicas más importantes de estos materiales volcánicos son: peso específico menor que 1; alta aislación térmica y acústica; buena reactividad química; colores claros, blanco amarillento y gris claro. (Ref.4)

La formación del vidrio volcánico activo tiene lugar por el enfriamiento brusco del magma fundido lanzado en las erupciones y pulverizado por el escape de los gases; esta eliminación de gases confiere al material una textura de gran superficie interna (de aerogel), de tal manera que cuando la erupción no es explosiva no se forma tanto vidrio ni este es tan activo.

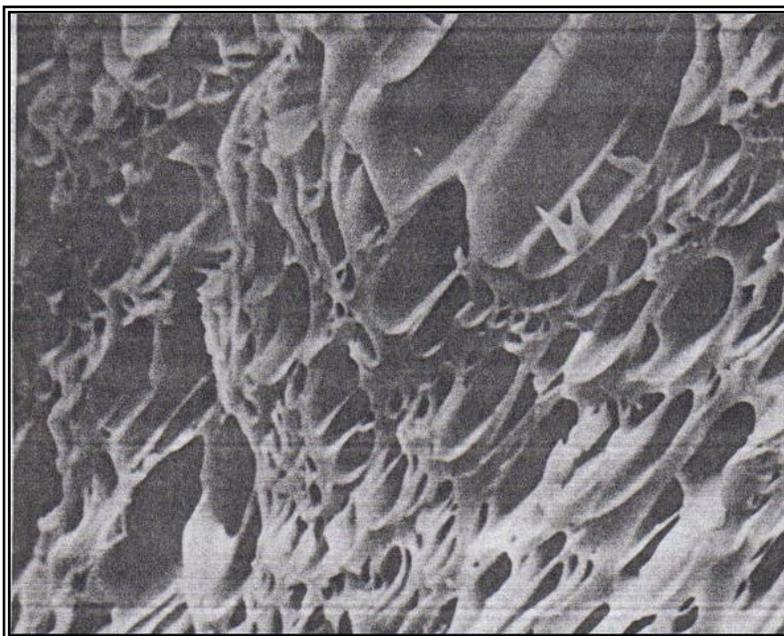
A continuación se muestran algunas fotografías tomadas al microscopio, de granos de puzolana, en las cuales se puede apreciar la formación de pequeños poros o pequeñas cavidades que le dan la característica porosa a las puzolanas.



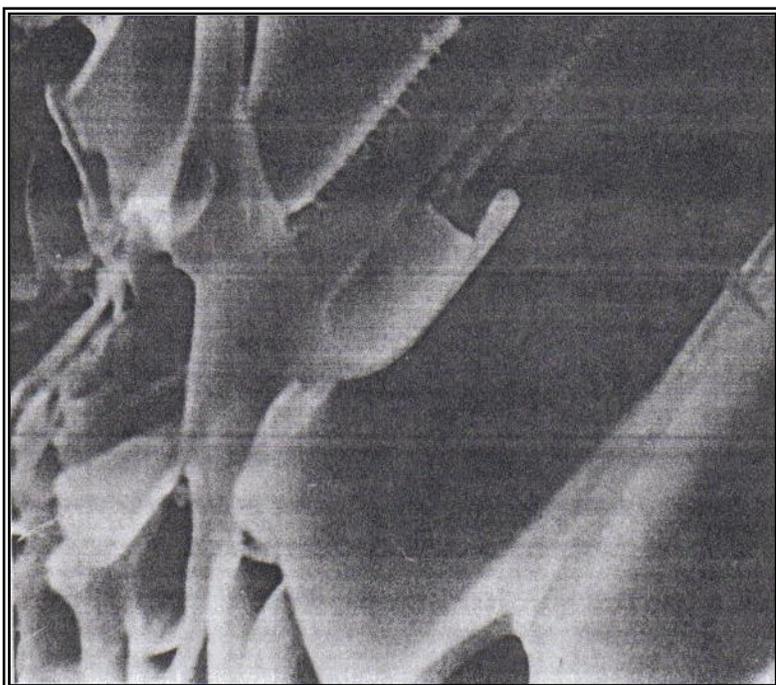
Superficie de un grano de
puzolana amplificado 60
veces.



Superficie de un grano de
puzolana amplificado 150
veces.



Se observa la formación de pequeños poros en forma de canales. Aumento 1200 veces.



Detalle de los poros de la puzolana. Aumento 3000 veces.



Las rocas efusivas o volcánicas son, en el caso límite, de textura (incluso de estructura) vítrea, es decir, carecen de cristales y toda su masa es de aspecto amorfo. En un caso no límite tienen textura porfídica (semicristalina o hipo cristalina), esto es, presentan fenocristales (cristales grandes) y una pasta formada por microlitos (cristales pequeños) representantes de los comienzos de la cristalización, conglomerados por una masa amorfa.

2.6.3 CAUSAS DE LA ACTIVIDAD PUZOLANICA

En la naturaleza se encuentran diversos materiales que presentan en estado natural propiedades puzolánicas.

Por comportamiento puzolánico se entiende, "la capacidad de reacción de estos materiales con cal o con la cal generada por la reacción de los minerales del clínker en una solución acuosa, en presencia o ausencia de yeso, con formación de fases hidratadas que contribuyen al endurecimiento de la pasta".

La mayoría de los materiales llamados puzolánicos son productos de naturaleza ácida, o sea en su composición química predominan los óxidos de silicio (SiO_3), de aluminio (Al_2O_3) y hierro (Fe_2O_3), capaces de reaccionar y fijar la cal (CaO).

En el caso de los cementos puzolánicos, la cal liberada en las reacciones de hidratación puede reaccionar a su vez con la puzolana contenida en el cemento, formando compuestos con propiedades aglomerantes.

La actividad de las puzolanas frente a la cal tiene su origen en la estructura inestable de los compuestos que la conforman, esencialmente compuestos derivados del óxido de silicio (SiO_3), cristalográficamente amorfos (vidrio



amorfo), y en la elevada superficie específica de estos compuestos (superficie activa para la reacción).

La actividad puzolánica responde a un principio general que reviste aspectos particulares en casos concretos. Dicho principio se basa en que la sílice y la alúmina, como componentes ácidos de los materiales puzolánicos, reaccionan con la cal a condición de que sus uniones en dichos materiales sean lábiles. Los casos particulares en los que se da la necesaria labilidad de estas uniones están constituidos por las estructuras zeolíticas, los vidrios volcánicos y los materiales activados. No pueden considerarse aparte las acciones de la sílice y de la alúmina, ya que la presencia de esta última favorece en gran medida la acción puzolánica, directamente por sí e indirectamente al implicar su presencia un mayor contenido de álcalis, que se fijan parcialmente en los nuevos productos resultantes de la reacción puzolánica, los cuales tiene el carácter de pseudogeles. El óxido de hierro se supone que actúa como la alúmina, pero de una forma más atenuada y lenta.

En lo que se refiere a las puzolanas de origen mineral, su actividad se ha atribuido, tan pronto a los constituyentes amorfos, como a los cristalinos, y en particular a los de naturaleza zeolítica.

2.6.3 CRITERIOS DE VALORACION DE LAS PUZOLANAS

Es verdaderamente difícil imaginar un único método que con carácter general permita llevar a cabo una estimación del valor puzolánico en condiciones comparables en todos los casos y para los diversos tipos de puzolanas. En primer lugar, porque la puzolanidad puede deberse a diferentes causas o, en todo caso, estar más decisivamente influida por unas u otras de dichas causas, a veces muy distintas entre sí. En segundo lugar, porque son muy diversas las formas en que



puede manifestarse prácticamente el fenómeno puzolánico y, en consecuencia, son también muy variadas las finalidades y aplicaciones que se desea lograr de la acción puzolánica. En tercer lugar, porque a veces interesa imponer a los métodos condiciones difíciles o imposibles de conseguir: valor práctico, rapidez, etc., y porque otras veces, aunque se consiga, no existe una aceptable correlación entre los resultados del método o ensayo propuesto y la realidad práctica.

La variabilidad cuantitativa y en cuanto a orden de resultados de los cementos puzolánicos en función de la puzolana, del clínker, de la proporción de ambos, de la relación agua/cemento, etc., es causa de que las condiciones óptimas en un caso no lo sean en los demás, por lo cual la evaluación de las puzolanas no tiene sentido si no es en las exactas condiciones de uso práctico, las cuales no se suelen conocer ni con mediana precisión en la realidad.

Sin embargo, a falta de un método de aplicación general para la evaluación de las puzolanas, existen desde antiguo otros métodos de ensayo con validez limitada y, por consiguiente, con campos de aplicación restringidos, para determinar el valor hidráulico de las puzolanas como tales. Unos son cualitativos y otros cuantitativos; unos químicos y otros físicos o tecnológicos; los hay incluso de carácter mixto.

Todos en general, pero particularmente los químicos, guardan estrecha relación con las causas a las que se atribuye en una u otra medida la puzolanidad.

2.6.4 CRITERIOS CUALITATIVOS

Son de apreciación grosera, muy empíricos y, en consecuencia, poco precisos, y susceptibles de dar resultados dudosos.



2.6.4.1 QUIMICOS

La composición química, y por lo tanto el análisis químico como método, no dice prácticamente nada acerca del valor de una puzolana.

El criterio clásico es el basado en la capacidad de reacción de los materiales puzolánicos con el hidróxido cálcico en disolución, de acuerdo con la definición que de ellos suele darse. El método de apreciación más sencillo consiste en agitar con agua de cal el material finamente molido y observar las formaciones floconosas que aparecen. Estas, constituidas por los productos de reacción entre la puzolana y la cal, tienen estructura de gel, son voluminosas y se depositan, aumentando el sedimento con el tiempo a medida que la interacción cal-puzolana progresa. De la cantidad o espesor del depósito, es decir del aumento de volumen de los sólidos en la disolución de cal se deduce el valor puzolánico del material. El método recibe el nombre de método de floculación.

Por otro lado está el método de absorción o fijación de cal en disolución que sirve para distinguir cualitativamente los materiales activos de los inertes, pero no es cuantitativo, es decir, no sirve para establecer una clasificación entre materiales activos. A veces se combina este método con el de las resistencias de las puzolanas (o de los cementos puzolánicos) en mortero. Incluso para hacer más rápidos y prácticos estos métodos se ha intentado aplicarlos a temperatura superior a la normal, con carácter incluso cuantitativo.

2.6.4.2 FISICOS

Uno de ellos consiste en la observación microscópica del material puzolánico, convenientemente preparado. A veces, los resultados de esta observación se completan con los relativos a la capacidad de absorción de agua por parte del material finamente dividido.

Otro, también clásico, se basa en la confección de pequeñas probetas de una mezcla del material puzolánico con cal hidratada, amasada con agua. Las



probetas, protegidas de toda acción del CO₂, se conservan durante 3 días en aire húmedo, al cabo de los cuales, se comprueba si se ha producido algún endurecimiento de la masa. Se considera que el material ensayado es puzolánico cuando las probetas así conservadas resisten, sin deshacerse, un tratamiento de 2 horas en agua hirviendo.

2.6.5 CRITERIOS CUANTITATIVOS

Son más detallados y precisos y permiten, cuando menos, establecer comparaciones sobre una base más firme.

2.6.5.1 QUIMICOS

Como los cualitativos de igual naturaleza, se basan en la reacción del material puzolánico con agua de cal.

Uno de los métodos consiste en agitar con agua de cal la puzolana finamente molida y, bien en frío o en caliente (casi a ebullición), determinar la cantidad de cal fijada por valoración del líquido con ácido clorhídrico (volumetría de retorno).

Una modalidad del método consiste en medir la conductividad del líquido (decreciente a medida que la puzolana fija cal), en lugar de valorar la disolución con ácido clorhídrico.

Otra variante se basa en la utilización de agua de barita, en lugar de agua de cal, pues, dado que la solubilidad del hidróxido bórico es mayor que la del hidróxido cálcico, es posible conseguir con aquél una concentración mayor, lo



que permite utilizar volúmenes menores de líquido. Se determina, por valoración con ácido, la cantidad de barita fijada (diferencia de concentración entre un volumen de agua de barita sin tratar y un volumen igual del mismo agua, después de agitada con el material puzolánico). Se designa por *índice* de barita a la cantidad de ésta fijada por 1 gramo de puzolana.

El método de determinación del hidróxido cálcico fijado en los morteros, por extracción, es impreciso, sobre todo porque una parte del hidróxido, atrapado e inmovilizado por los geles tobermoríticos, no se deja extraer fácilmente, siendo necesario pulverizar muy finamente los materiales para lograr una extracción casi completa, con lo que el grado de finura del material tratado aparece como variable difícil de controlar.

El procedimiento de determinar los componentes solubles en ácidos (clorhídrico, nítrico) o en álcalis (sosa, potasa, carbonato sódico) en general no guarda relación con los métodos basados en las resistencias .

El método basado en un tratamiento ácido seguido de otro alcalino para determinar la sílice y los sesquióxidos solubles es mejor, pero sólo da un índice de la fijación de cal, sin relación con las resistencias alcanzadas en morteros. Además, es un método que sólo permite comparar puzolanas de un mismo tipo u origen.

Una variante antigua de este método consistía en tratar la puzolana, primero con ácido clorhídrico diluido (1:8) y después con potasa al 20 % ; la suma de los solubilizados en ambos procesos da idea del valor puzolánico del material.

De este procedimiento existe una versión moderna más detallada y precisa, según la cual 1 gramo del material a ensayar se trata con 25 ml de agua y 10 ml de ácido clorhídrico concentrado; se calienta casi a ebullición y se filtra. Se lava el residuo 5 veces con agua hirviendo; de 4 a 5 veces, con 100 ml cada vez, de hidróxido sódico al 10 %, en frío; 2 veces con agua hirviendo; 2 veces con ácido clorhídrico al 0,7 % y 5 veces con agua hirviendo. El residuo se deja escurrir, se deseca y se incinera. La pérdida del peso (diferencia entre el



gramo original y el peso del residuo incinerado) da una idea cuantitativa del valor puzolánico.

La sílice solubilizada por reacción con la cal sí parece ser, en cambio, un índice relacionado con las resistencias, si la naturaleza de la puzolana es tal que no requiere mucho agua para lograr una plasticidad normal en el mortero. No es, en cambio, un método práctico por exigir el mismo tiempo que el basado en la determinación de las resistencias.

2.6.5.2 FISICOS

Los métodos químicos cuantitativos, adolecen del defecto de no responder, en cuanto a condiciones de ensayo, a las reales de actuación y de empleo de las puzolanas en la práctica.

Ello ha llevado a establecer un procedimiento de valoración más en consonancia con el comportamiento puzolánico real, basado en la fabricación de probetas a partir de una mezcla, amasada con agua, de puzolana y cal apagada en polvo. Las probetas se conservan durante algunos días en ambiente húmedo exento de dióxido de carbono y, una vez fraguadas, bajo agua. De tiempo en tiempo se determina la porción soluble en ácido clorhídrico; el aumento de esta porción soluble da idea de la marcha de la reacción entre la puzolana y la cal.

En realidad este procedimiento es mixto, aun cuando se sustituyen las determinaciones periódicas de la parte soluble, por determinaciones del calor de reacción entre la puzolana y la cal.

Un verdadero ensayo tecnológico es el preconizado por las Normas alemanas (DIN 51043), consistente en preparar probetas de un mortero a base de 1 parte en peso de puzolana ("trass"), 0,8 partes de cal apagada en



polvo (normalizada) y 1,5 partes en peso de arena normalizada. Las probetas se conservan en unas condiciones determinadas y se ensayan a tracción y compresión a plazos fijos, exigiéndose valores mínimos para las respectivas resistencias, si el material ensayado ha de ser considerado como puzolánico.

En realidad este ensayo también es mixto, por cuanto, que va ligado al del contenido de agua de hidratación de la puzolana.

Entre los métodos acelerados, los basados en la extracción de hidróxido cálcico libre y de sílice soluble en los productos fraguados dependen de la temperatura, factor que hay que tener en cuenta, sobre todo al comparar puzolanas naturales y artificiales. Los basados en las resistencias aceleradas distorsionan los resultados y cabe preguntarse si valen más bien para evaluar la durabilidad.

Existen otros métodos diferenciales que se basan en la apreciación de las resistencias según tratamientos previos en frío y en caliente.

El método calorimétrico de BESSEY es distinto de todos los anteriores y al implicar la aportación de calor al sistema supone también una acción puzolánica extra adicional.

En general aquí no se entrará en detalle con respecto a cada método, pues interesa mencionarlos solamente. Esto para saber que existen diferentes métodos que pueden aproximar, en gran medida, los criterios de valoración de las puzolanas a lo real.



2.7 DESARROLLO DE LAS APLICACIONES DE LAS PUZOLANAS DE ORIGEN VOLCANICO: ESTADO DEL ARTE.

2.7.1 APLICACION DE PUZOLANAS EN EL CEMENTO

De todos los conglomerantes hidráulicos el cemento Pórtland y sus derivados son los más empleados en la construcción debido a estar formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son minerales muy abundantes en la naturaleza, ser su precio relativamente bajo en comparación con otros materiales y tener unas propiedades muy adecuadas para las metas que deben alcanzar.

Dentro de los conglomerantes hidráulicos entran también los cementos de alto horno, los puzolánicos y los mixtos, teniendo todos éstos un campo muy grande de empleo en hormigones para determinados medios, así como los cementos aluminosos "cementos de aluminato de calcio", que se aplican en casos especiales.

Los cementos se emplean para producir morteros y hormigones cuando se mezclan con agua y áridos, naturales o artificiales, obteniéndose con ellos elementos constructivos prefabricados o construidos "in situ".

En nuestro país es Cementos Polpaico quien a fines de la década de los cincuenta introduce al mercado los cementos puzolánicos (con puzolana), como alternativa de los Pórtland. La puzolana es un *material extremadamente abundante en Chile* y que entrega excelentes características hidráulicas.



2.7.2 CLASIFICACION DE LOS CEMENTOS SEGUN SUS COMPONENTES.

En Chile los cementos se clasifican en:

- Cementos **PORTLAND**, si están compuestos por clínker y un bajo porcentaje de yeso.
- Cementos **SIDERURGICOS**, compuestos de clínker más escoria básica granulada de alto horno y yeso, dentro de los que están:
 - **Cementos Pórtland Siderúrgicos:** Si el porcentaje de escoria granulada de alto horno es inferior al 30%.
 - **Cementos Siderúrgicos:** si el porcentaje de escoria granulada de alto horno está presente en porcentajes comprendidos entre 30 y 75 %.
- Cementos **PUZOLANICOS**, compuestos por clínker, puzolana y yeso.
 - **Cemento Pórtland Puzolánico:** si el porcentaje de puzolana es inferior a 30 %.
 - **Cementos Puzolánicos:** si el porcentaje de puzolana está entre 30 y 50 %.

En general, para lograr una variedad de aplicaciones del cemento, hoy en día, se requiere utilizar en su elaboración, sustancias naturales o sintéticas que impriman al cemento las propiedades requeridas. Esta función la cumplen los llamados aditivos, existiendo una amplia gama de éstos, dentro de los cuales citamos también a las **puzolanas**.



2.7.2.1 CEMENTOS PUZOLANICOS

Resultan de la molienda conjunta de clínker puzolana y yeso.

La adición de puzolana confiere características ventajosas para los cementos, tales como mayor resistencia química, menor calor de hidratación, inhibición de la reacción nociva álcalis / árido.

2.7.3 APLICACION DE PUZOLANAS EN MORTEROS Y HORMIGONES.

Las puzolanas son usadas en hormigones como filler, tanto en hormigones normales como también en hormigones rodillados.

Por ejemplo el proyecto de la Central Hidroeléctrica Ralco, que ha sido elaborado por la Empresa Nacional de Electricidad S.A., ENDESA, ha utilizado para la construcción un Hormigón Compactado con Rodillado (HCR), cuyos componentes son cemento, áridos gruesos, áridos finos, *puzolana* y agua.

La función de la puzolana en los hormigones es aportar los finos que no tiene la dosificación, es decir, para aumentar la compacidad del hormigón.

Como ya se ha dicho anteriormente las puzolanas tienen casi ninguna propiedades hidráulicas, pero al mezclarlas con el clínker del cemento (en su fabricación) se activa dicha propiedad.

Como requisito en la utilización de puzolanas en hormigones se requiere que ésta esté seca y pulverizada, para poder trabajar con una granulometría controlada. De hecho con respecto a la granulometría se puede decir que se está trabajando con alta tecnología, siendo un ejemplo de esto la empresa de Cementos Melón, en donde el proceso de control granulométrico se hace vía láser.

Con respecto a las resistencias mecánicas a compresión alcanzadas por las lechadas con puzolanas son más elevadas de lo que cabría esperar, por el contenido en cemento de las mismas y por la elevada relación agua / cemento, demostrando el



papel efectivo en el desarrollo de micro estructuras resistentes activadas por la presencia de puzolanas.

La incorporación de puzolanas a las lechadas en niveles de sustitución elevados (30%), permite la reducción en el consumo de cemento, sin sacrificar las propiedades básicas del producto final.

La puzolana aplicada al concreto lo hace menos permeable y por tanto más durable, mejorando considerablemente las propiedades mecánicas de éste. Además propicia una disminución del contenido de cemento y produce el consiguiente ahorro de la mezcla.

La incorporación de puzolanas naturales mejora el comportamiento del cemento ante agentes agresivos y disminuye el calor de hidratación, debiéndose adoptar, por contra, precauciones especiales en el curado y en el hormigonado en tiempo frío.

2.7.4 APLICACION DE PUZOLANAS EN LA FABRICACION DE LADRILLO.

También se estarían incorporando las puzolanas a la fabricación del ladrillo. En Italia, en particular, donde abundan las puzolanas, ha sido incorporada obteniéndose ladrillos como se indica a continuación.

La mezcla de puzolana altamente reactiva y arcillas corrientes o comunes permitió la fabricación de ladrillos con temperaturas de cocción menor o igual que 1100 °C y que presentan alta densidad, baja porosidad y buena resistencia al ataque de los ácidos. Esas propiedades del ladrillo obtenidas con costos de energía reducidos, se debieron a la formación de una fase vítrea abundante, compacta y químicamente inerte y que incluyó granos compuestos principalmente de mulita.

Los materiales obtenidos son particularmente apropiados para pavimentos, recubrimientos y en general para todo tipo de estructuras sujetas a ataques químicos severos. (Ref.6)



2.7.5 APLICACIONES VARIAS.

Las puzolanas, con el pasar del tiempo, han ido siendo utilizadas en distintas áreas. Deberían existir otras aplicaciones para las puzolanas, dado el valor físico y químico de éstas: sílice con reactividad química singular.

A continuación se mencionan algunas aplicaciones de distintos tipos de puzolana, donde cabría esperar muchas otras, pero ésto será problema del cual se ocupará en la segunda parte del presente informe.

2.7.5.1 PUZOLANAS VOLCANICAS ROJAS.

Los materiales de origen volcánico poseen una gran ligereza, y en particular tienen propiedades drenantes y aislantes. A su vez, son materiales con una gran durabilidad que mantienen sus características en instalaciones que tienen una vida útil muy larga. La puzolana volcánica de color rojizo y granulometría uniforme 6-10 mm. es muy útil como *elemento decorativo* en caminos, parques y jardines. Su capacidad de drenaje y baja densidad se aprovecha para mejorar la percolación del agua en obras de construcción, jardines y campos de deporte. Gracias a su baja densidad y su elevado poder aislante es de gran utilidad para el *relleno de cubiertas*, el *establecimiento de redes de drenaje* y la *fabricación de hormigones ligeros*. Los filtros de olor son un material vegetal grueso, de baja densidad que actúa como filtro absorbente de malos olores en procesos industriales (depuradoras de agua) mediante la circulación del aire impregnado a través del filtro vegetal de olor.



2.7.5.2 PUZOLANAS VOLCANICAS NEGRAS.

Puzolana volcánica de color negro, de granulometría uniforme 6-16 mm, 16-25 mm o 25-40 mm. Tiene una densidad ligeramente superior a la puzolana roja. Las aplicaciones de las distintas granulometrías son las siguientes:

Granulometría 6-16 mm: se recomienda como materia *drenante* para la fabricación de substratos y para sistemas de drenaje.

Granulometría 16-25 mm: se utiliza para *decoración* de jardines y patios interiores donde se desee minimizar las labores de mantenimiento, evitando la erosión y la salida de malas hierbas. Su naturaleza volcánica la hace muy indicada para el cubrimiento de jardineras.

Granulometría 25-40 mm: utilizable como mulch grueso para *protección* de las raíces de los cambios de temperatura y humedad, y evitando la salida de malas hierbas v la erosión de terrenos sin vegetación.



3.0 CAPITULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.0 CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL.

3.1 CARACTERIZACION DE MATERIAS PRIMAS

3.1.1 ARCILLA

Este material es proveniente de la ciudad de Santiago. Fue proporcionado por Ladrillos Princesa de la misma ciudad.

Se trabajó con arcilla en estado natural, es decir, sin previo tratamiento desde el punto de vista de su granulometría y de su humedad.

Para conocer la composición química de la arcilla y el caolín, se enviaron muestras a Cementos Bío-Bío, donde se hizo el análisis, obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

RESULTADOS	ARCILLA	CAOLIN
SiO ₂ (%)	58,92	58,00
Al ₂ O ₃	15,50	18,60
Fe ₂ O ₃	8,80	6,40
CaO	2,90	0,80
MgO	2,10	1,60
SO ₃	0,00	1,00
SO ₃ (total) LECO (%)	0,00	2,80
NaO	2,60	0,50
K ₂ O	1,43	2,80
Pérdida Por calcinación	5,33	8,40
Humedad a 110°C (%)	4,50	4,00

Fuente: Análisis realizado en Noviembre del 2003 por. Depto. Control de Calidad Cementos Bío-Bío S.A.C.I.

Revisando el análisis químico mostrado en la tabla anterior, se perciben estándares básicos para la materia prima del ladrillo. Sin embargo llama la atención lo similares que son los valores e ambas muestras.

Visualmente la arcilla y el caolín se aprecian muy distintas, sin embargo su aporte a las propiedades de la masa cerámica son similares. Debido a esto, se puede decir que falta un material que cumpla propiedades de desengrasante, por lo que la puzolana, puede ser una buena solución.

3.1.1 PUZOLANA

La puzolana es el aditivo a incorporar y fue facilitado por Cementos Polpaico, su procedencia es de la ciudad de Santiago, donde dicha empresa tiene sus propios yacimientos. Esta puzolana es corresponde a la misma empleada por dicha empresa para elaborar el cemento puzolánico.

Para conocer la granulometría de la puzolana, se realizó un tamizado en serie, el que arrojó los siguientes valores:

TAMIZ (mm)	PESO RESIDUO SECO (g)	% DE RESIDUO
0,85	16,58	14,90
0,50	14,21	12,77
0,30	2,03	1,82
0,15	21,00	18,88
BASE (-0,15)	57,43	51,62
Peso (g)	111,25	99,99

Más adelante, donde se analiza el proceso de fabricación de las probetas, se explica más en detalle este proceso.

Desde el punto de vista químico, dicho análisis está en curso.

3.2 ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS



Foto N°1: Arcilla mojada recién almacenada



Foto N°2: Arcilla secada naturalmente

Tanto la arcilla como el caolín estaban almacenados en unos envases de tipo plástico y colocados sobre pallets. En un comienzo dichos materiales estaban guardados bajo techo en un galpón en las inmediaciones de la universidad del Bío-Bío, condición que posteriormente cambió, pues por efectos de espacio, fueron sacados a la intemperie, por lo que quedaban expuestos a las diversas condiciones climáticas, siendo la lluvia quien más afectaba las propiedades de éstos.

Lo mencionado anteriormente apunta principalmente a la excesiva incorporación de humedad a la que estaban expuestos los materiales, pues en laboratorio en forma posterior era mucho más demoroso el proceso de secado, para así poder manejar o más bien dicho controlar la variable humedad. Se almacena en unos cajones de madera donde se dejan secar al aire libre, como se muestra a continuación.



La arcilla y el caolín no tenían ningún tipo de procesamiento o de molienda, ya que eran enviados a Concepción en las mismas condiciones granulométricas que se encontraban en el lugar de extracción.

La puzolana, como se mencionó anteriormente, es proveniente de la ciudad de Curicó, lugar del cual la extrae Cementos Polpaico. Al igual que los materiales anteriores se aprecia que no posee ningún tipo de molienda o procesamiento, es decir, se encuentra en estado natural.

En cuanto a la preparación de estos materiales, los procesos apuntan a manejar la granulometría y la humedad de éstos.

La arcilla y el caolín tras ser llevados al laboratorio, se colocaban en una especie de cajones, donde se dejaban secar en forma natural, siendo sacados al aire libre cuando las condiciones climáticas lo permitían, para así ayudar a que el material expulsara la mayor cantidad de humedad posible. Además cada cierto tiempo dichos materiales eran removidos, para facilitar el proceso de secado.

Una vez que se apreciaba que el material alcanzaba un equilibrio, o por lo menos se encontraba más seco, era puesto en unos tiestos de aluminio, para luego ser colocados en un horno. Cuando el material se encontraba seco era almacenado en sacos.

Tras haber logrado medianamente el secado del material, éste queda en condiciones de ser molido. La idea o motivo de este proceso es disminuir lo más que se pueda el tamaño de los materiales, para posteriormente facilitar el proceso de humectación. La molienda consta de dos etapas:

3.2.1 MOLIENDA PRIMARIA

Debido a que tanto la arcilla como el caolín traen un tamaño o una granulometría muy variada se debe dejar en forma más uniforme. Este proceso no es nada más que, como su nombre lo indica, reducir el tamaño de los materiales, para luego ser incorporados a la etapa que le precede.

Es necesario que se reduzca en forma primaria el tamaño de los materiales, ya que sin este proceso al ser incorporado al equipo de molienda secundaria, éste se atoraría o simplemente el motor no haría girar los rodillos que se encargan de la molienda. Es necesario mencionar que en laboratorio existe un equipo para cada proceso, pero por encontrarse en mal estado o averiado el equipo empleado para el primer proceso no fue posible utilizarlo, por lo que tanto la molienda primaria como la secundaria se llevaban a cavo en el equipo de la molienda secundaria.

Éste, por poseer un par de rodillos de distanciamiento regulable hace posible que se pueda ejecutar ambos procesos, lo que hacía más demoroso el procesos de molienda primaria



Foto N°3: Equipo averiado destinado para molienda primaria.

3.2.2 MOLIENDA SECUNDARIA

Una vez que se alcanzaba un menor tamaño de los materiales, éstos quedaban en condiciones de ser pasados por los rodillos mencionados anteriormente, los que se ajustaban dejándolos lo más juntos. Luego este material quedaba acondicionado para ser mezclado y humectado con el resto de la mezcla.



Foto Nº4: Rodillos por los que pasa el material para ser molida.

Lo anterior se llevaba a cabo tanto para el caolín como para la arcilla, sin embargo, la puzolana se trataba de forma distinta. En primer lugar por estar contenida en bolsas plásticas se colocaba en tiestos donde se dejaba secar al aire libre. Luego se colocaba en el horno al igual que las anteriores y se dejaba el tiempo necesario para eliminar la humedad excesiva.

3.2.3 TAMIZADO DE PUZOLANA

Una vez que se lograba secar la puzolana se procedía a ser pasada por una serie de tamices, para saber cual era la granulometría predominante y así poder definir los cortes o las granulometrías con que se trabajaría. No olvidemos que la granulometría es un punto fundamental en este estudio. Se realizarán dos tamizados por separado, uno en serie y otro de forma independiente, con la finalidad de corroborar los valores obtenidos en el tamizado en serie.

De acuerdo al tamizado de la puzolana se decidió trabajar con los siguientes cortes:

Corte (-20 + 35).....(-0,85 + 0,50) mm.

Corte (-35 + 50).....(-0,50 + 0,30) mm.

Corte (-50 + 100).....(-0,30 + 0,15) mm.



(-0,85 + 0,50) mm.



(-0,50 + 0,30) mm.



(-0,30 + 0,15) mm.

3.2.3.1 PROCEDIMIENTO.

Se realizó el tamizaje de la puzolana de dos maneras distintas una se hizo en serie y la otra en forma independiente.

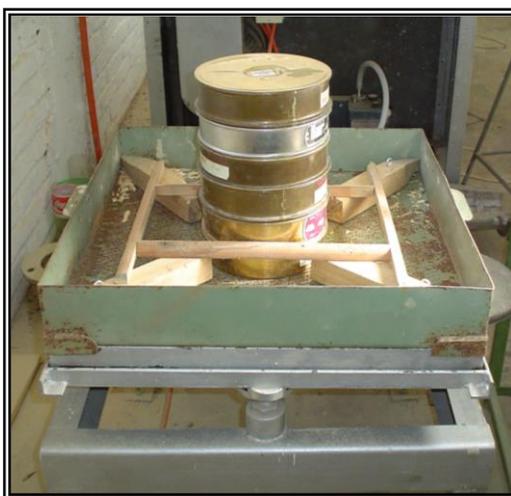


Foto N°5: Serie tamices compuesto por tamiz N°20, N°35, N°50 y N°100

GRANULOMETRIA EN SERIE

% HH: 0,55%

PESO MUESTRA TAL CUAL: **111,88 (g)**

PESO MUESTRA SECA: **111,26 (g)**

TAMIZ N°	PESO TAMIZ VACIO (g)	PESO TAMIZ + MUESTRA (g)	PESO RESIDUO SECO (g)	% DE RESIDUO
20	420,11	436,78	16,58	14,90
35	340,02	354,31	14,21	12,77
50	374,25	376,29	2,03	1,82
100	341,96	363,08	21,00	18,88
BASE	376,52	434,27	57,43	51,62
			111,25	99,99



En los datos de la tabla anterior, se puede observar que más del 50% de la puzolana en estudio, corresponde a una granulometría inferior a 0,15 mm., por lo que para obtener las otras granulometrías requeridas, se debía moler, ya que el material total con que se disponía sería suficiente para efectuar todas las formulaciones.

Por otro lado se observa que el residuo que queda sobre la malla de 0,30 mm. es sumamente poco, hecho que concuerda con el proceso de obtención del corte (-0,50 + 0,30) mm., utilizado para realizar las experiencias en laboratorio.

GRANULOMETRIA EN TAMICES INDEPENDIENTES

TAMIZ (mm)	PESO TAMIZ VACIO (g)	MUESTRA Seca(g)	PESO TAMIZ + MUESTRA (g)	PESO RESIDUO SECO (g)	% DE RESIDUO
0,85	420,11	26,34	426,59	6,44	24,46
BASE	376,52		396,53	19,90	75,54
0,50	340,02	25,27	347,38	7,32	28,96
BASE	376,52		394,58	17,96	71,07
0,30	374,25	25,17	381,75	7,46	29,63
BASE	376,52		394,35	17,73	70,45
0,15	341,96	25,75	354,49	12,46	48,40
BASE	376,52		389,87	13,28	51,56

En el tamizado independiente se puede apreciar que en los tres primeros cortes, el porcentaje de residuo fluctúa entre 24% y un 29%, y que en el último corte, correspondiente a 0,15 mm., se observa que el residuo es mucho mayor, llegando hasta un 51%. Por lo explicado anteriormente se puede decir que la granulometría más abundante obtenida, corresponde a (-0,30 + 0,15) mm.

3.3 PROCESO DE FABRICACION DE LAS PLACAS

3.3.1 MEDICION DE HUMEDAD DE MATERIAS PRIMAS

Este proceso es bastante importante, pues permite calcular la humedad final con la que queda el material y así poder cuantificarla y considerarla para luego incorporar el agua restante de acuerdo al porcentaje de humectación que se definió para la mezcla.

El proceso como tal es bastante simple, pues se emplean 3 cápsulas de vidrio en las que se colocarán muestras de cada material.

En primer lugar se deben preparar las cápsulas, es decir, colocarlas en el secador por un tiempo de aproximadamente 1 hr. a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5$ para que eliminen la humedad que puedan tener.



Foto N°6: Secador con cápsula en su interior

Luego son llevadas al desecador durante 15 minutos. El desecador corresponde a un sistema aislante de vidrio, y se emplea para que el material se seque sin presencia de agua, es decir, en un ambiente seco, ya que posee en su interior un material higroscópico que absorbe el agua contenida en el material en análisis.



Foto N°7: Desecador

Una vez que las cápsulas estén secas se procede a pesarlas en una balanza digital.



Foto N°8: Balanza digital de una precisión de 0.01 (mg) y una capacidad de 1.5 (Kg)

Después se coloca sobre cada una de las cápsulas una muestra de arcilla, caolín y puzolana, respectivamente para ser pesadas nuevamente y por diferencia con el peso de la cápsula conocer el peso húmedo de cada material.

Posteriormente las tres cápsulas son puestas con el materias en el horno para ser secadas durante un tiempo dos horas aproximadamente a una temperatura de



110 °C ± 5, para luego colocarlas en el desecador durante 15 minutos. Para finalizar este proceso las muestras son pesadas nuevamente, obteniéndose el peso seco de los materiales. Al tener toda esta información se está en condiciones de conocer la humedad que posee cada material y así poder determinar la cantidad de agua a incorporar a la mezcla, de acuerdo al porcentaje de humectación con que se trabaje.

Para conocer la humedad de los materiales se ocupó la siguiente fórmula:

$$\%HH = \left(\frac{P1 - P2}{P1} \right) * 100$$

Donde:

%HH : Porcentaje de humedad higroscópica

P1 : Peso inicial o húmedo

P2 : Peso final o seco

Estos valores se obtienen como se muestra a continuación:

$$P1 = (\text{Peso cápsula con muestra húmeda}) - \text{Peso cápsula}$$

$$P2 = (\text{Peso cápsula con muestra seca}) - \text{Peso cápsula}$$



3.3.2 FORMULACIONES

Este proceso es mediante el cual se hacen los cálculos matemáticos y de acuerdo a los cuales se definen las cantidades de cada material a incorporar a la mezcla final, incluyendo la cantidad de agua.

Es importante decir que las cantidades de materiales ocupadas, fueron definidas de acuerdo a la experiencia desarrollada en la universidad del Bío-Bío para ser ocupadas.

Para comenzar se debe definir lo siguiente:

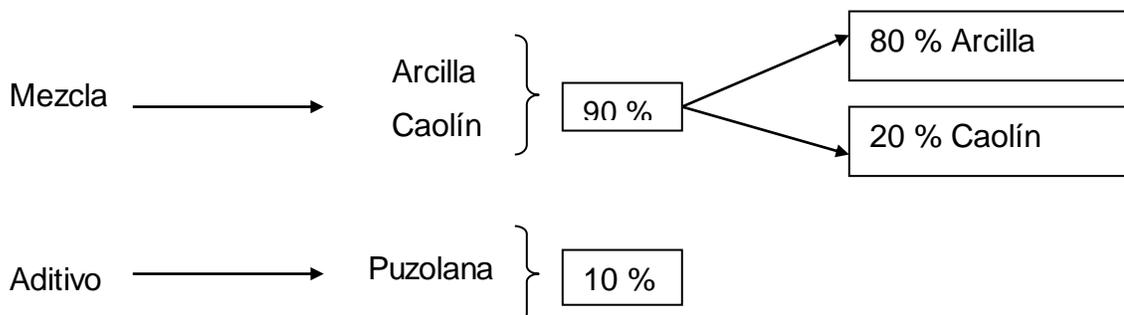
- **Porcentaje de humectación:**

De acuerdo a experiencias anteriores, efectuadas en la universidad del Bío-Bío se comenzó a formular con un 20.5 % de humectación, dejando abierta la posibilidad de ser variada de acuerdo a la plasticidad que se apreciara en la pasta al momento de ser humectada en el mezclador. Los valores finales de humectación fluctuaron entre 20.5 y 20.8 %.

- **Peso total de la mezcla:**

En base a la misma consideración anterior, los cálculos se hacen para obtener 35 Kg. de mezcla total pues, con esta cantidad al sacar el material de la extrusora, alcanza para fabricar las tres placas requeridas (dos de ellas serán para medir conductividad térmica y la restante, para medir absorción y compresión).

- **Relación (Arcilla/ Caolín) / Puzolana:**



Así como se indica anteriormente la masa para fabricar las placas se compone por los dos materiales bases (mezcla arcilla - caolín) y el aditivo que estamos empleando, puzolana.

Las proporciones que se aplicaron en todas las formulaciones corresponden a un 90% de mezcla arcilla – caolín, de la cual el 80% es arcilla y el 20% caolín, y el 10% restante de puzolana.

Para obtener las cantidades de cada material en kilogramos se ocuparon algunas fórmulas y algunas consideraciones, las que se explicarán a continuación:

- **Cálculo de factor:**

Este factor se calcula para poder obtener en forma posterior el peso de los materiales en estado natural de acuerdo al porcentaje de humedad que éstos posean, es decir, como ya se conoce el porcentaje de humedad que poseen las materias primas y también se conocen las cantidades en peso de cada material a incorporar a la mezcla, pero en estado seco, es necesario establecer un factor que permita convertir o traducir ese valor al estado natural en que se encuentran dichos materiales, para poder considerar la humedad que aporta cada uno y poder ser restados de la cantidad de agua que se va incorporar.



Este se calcula de la siguiente forma:

$$F = \left(\frac{100 - \%HH}{100} \right)$$

Donde:

F : Factor a calcular

%HH : Porcentaje de humedad higroscópica del material

Este factor se calcula para cada material.

Se hacen los cálculos de los materiales secos, es decir, ocupando los valores iniciales (10% puzolana, 90% mezcla arcilla – caolín y de esta última 80% arcilla y 20% caolín).

Todo lo anterior se hace para un peso de 35 Kg. de mezcla. Se ocupa esta cantidad de material, pues permite o alcanza para fabricar las tres placas necesarias (dos placas son para medir conductividad térmica y la otra es para resistencia a la compresión, absorción y ataque químico)

Luego se calculan los valores en peso de los materiales húmedos, es decir, considerando sus humedades. Se calculan dividiendo el peso seco de cada material por el factor del mismo.

Al tener los valores de los pesos secos y húmedos se está en condiciones de calcular el agua que aporta cada material a la mezcla y además el agua que hay que incorporar.

$$H_2O_A = P_{th} - P_{ts}$$

Donde:

H₂O_A : Agua de aporte del material

P_{th} : Peso total húmedo

P_{ts} : Peso total seco



Una vez obtenida el agua de aporte se resta al agua de humectación calculada inicialmente, pues de no ser así se estaría incorporando más agua que la que corresponde.

Para que este proceso quede más claro, a continuación se dará un ejemplo:

Datos:

- Mezcla arcilla – caolín : 90% (80% arcilla y 20 5 caolín)
- Puzolana : 10%
- % Humectación : 20.5%
- Peso total mezcla : 35 Kg.

Desarrollo

- Cálculo % humedad de los materiales

Material	Peso Cápsula (gr)	P. cap. + material húmedo (gr)	P. cap. + material seco (gr)	Peso material húmedo (gr)	Peso material seco (gr)	Humedad (%)
Arcilla	93.12	123.69	122.45	30.57	29.33	4.06
Caolín	97.3	121.13	120.02	23.83	22.72	4.66
Puzolana	96.46	108.41	108.31	11.95	11.85	0.84

Como se explicó anteriormente se ocupa la siguiente fórmula:

$$\%HH = \left(\frac{P1 - P2}{P1} \right) * 100$$

%HH : Porcentaje de humedad higroscópica

P1 : Peso material húmedo

P2 : Peso material seco



▪ **Cálculo de factor :**

Material	Fórmula con valores	Factor
Arcilla	$(100 - 4.06) / 100$	0.9594
Caolín	$(100 - 4.66) / 100$	0.9534
Puzolana	$(100 - 0.84) / 100$	0.9916

Para este cálculo se aplica la siguiente fórmula:

$$F = \left(\frac{100 - \%HH}{100} \right)$$

F : Factor a calcular
%HH : Porcentaje de humedad higroscópica del material

▪ **Peso materiales secos**

En primer lugar se calcula el agua de acuerdo al % de humectación, donde se multiplica el peso total de la mezcla (35 kg) por el porcentaje de humectación (20.5 %)

Agua : $35 \text{ (kg)} \times 0.205 = 7.18 \text{ (lt)}$

Ahora a los 35 kg de mezcla se le deben restar los 7.18 (kg) del agua, cabe mencionar que se trabaja con una densidad del agua igual a 1.

Material restante : $35 - 7.18 = 27.82 \text{ (kg)}$

Para continuar se calcula el resto de los materiales de acuerdo al porcentaje en que se incorpora cada uno, con respecto a porcentajes de la formulación.



ESTUDIO, CARACTERIZACION Y EVALUACION
DE PUZOLANAS LOCALES EN LA MASA CERAMICA DEL LADRILLO



Material	Mat. restante x % a incorporar	Peso seco (kg)
Arcilla	27.82 x 0.9 x 0.8	20.03
Caolín	27.82 x 0.9 x 0.2	5.01
Puzolana	27.82 x 0.1	2.78

Obviamente al sumar los pesos calculados deben resultar 35 (kg).

Peso mezcla : $7.18 + 20.03 + 5.01 + 2.78 = 35$ (kg)

▪ **Peso materiales tal cual.**

Aquí solo se debe dividir el peso seco de cada material por el factor calculado anteriormente y al agua se le debe restar el agua que aporta cada material.

Material	Peso seco / Factor	Peso tal cual (kg)
Arcilla	(20.03 / 0.9594)	20.88
Caolín	(5.01 / 0.9534)	5.25
Puzolana	(2.78 / 0.9916)	2.8

El agua de aporte de cada material corresponde al peso seco menos el peso húmedo:

Material	Peso húmedo – Peso seco	Peso tal cual (kg)
Arcilla	20.88 - 20.03	0.85
Caolín	5.25 - 5.01	0.24
Puzolana	2.8 - 2.78	0.02

Total agua aporte (lt)	1.11
--------------------------	-------------



Por tanto el agua que se debe agregar a la mezcla es el agua total menos el agua de aporte total.

Agua a adicionar a la mezcla : $7.18 - 1.11 = 6.07$ (lt)

Y para concluir este cálculo se verifica finalmente que la suma de los pesos corregidos sean realmente 35 (kg).

Material	Peso tal cual (kg)
Arcilla	20.88
Caolín	5.25
Puzolana	2.80
Agua	6.07
Total	35.00

Por lo tanto estas son las cantidades que finalmente se incorporan al mezclador.

A continuación se adjuntan todas las formulaciones realizadas, con las consideraciones respectivas que se debieron tomar para cada una de ellas.



ENSAYO N°1

FABRICACION DE PLACAS POR EXTRUSION CON 10% PUZOLANA (-0,6 mm.) 90% MEZCLA DE REFERENCIA (80Arcilla / 20Caolín)

➤ Cálculos de formulación.

Fecha de Ensayo: 12/04/2004

- **% Humedad** Mezcla (80A/20C) = 6,00
PUZOLANA = 0,15

- **Kg. de Pasta 20% Humedad a preparar = 35 Kg..**

- **Kg. de Ingredientes puros**

Mezcla (80A/20C)	=	25,20
PUZOLANA	=	2,80
AGUA	=	7,00
Total Formulación	=	35,00

- **Kg. de Ingredientes En estado natural**

Mezcla (80A/20C)	=	26,81
PUZOLANA	=	2,80
AGUA	=	5,39
Total Formulación	=	35,00

- **Determinación de Humedades en mezcla**

Mezclador = 21,07%

Antes extrusión = 20,46%

Después extrusión = 20,39%

Se agregó 330 ml de agua adicional por tanto el % de humectación es de 20,75%

- **Fuerza promedio aplicada en prensa: 600 psi**

PLACA EM -1 - 1

PLACA EM -1 - 2

PLACA EM -1 - 3

Peso placa yeso: 4,35 Kg.

Peso placa yeso: 4,27 Kg.

Peso placa yeso: 4,30 Kg.

Peso placa pasta: 4,90 Kg.

Peso placa pasta: 5,28 Kg.

Peso placa pasta: 5,31 Kg.

Medidas: 31,0 x 28,7 x 2,9 cm.

Medidas: 31,1 x 28,6 x 3,2 cm.

Medidas: 31,1 x 28,7 x 3,2 cm.



CONSIDERACIONES

➤ ENSAYO N°1

Corresponde a la primera formulación. Se trabajó con una mezcla de arcilla - caolín correspondiente a experiencias anteriores. Su porcentaje de humedad es de un 6%.

La puzolana empleada fue tamizada con el tamiz N°30. A la mezcla se le incorporó el material que queda bajo la malla 30.

Como su formulación lo indica se trabajó con un porcentaje de humedad igual al 20%, debido a que en experiencias anteriores en laboratorio se hizo esta misma formulación, pero con una granulometría de la puzolana que correspondía a lo que queda bajo la malla 100.

En consecuencia, como ya se manejaban estos valores, se mantuvo la proporción de arcilla – caolín correspondiente al 90% y el 10% restante con puzolana, por lo que solamente se cambió la granulometría del aditivo en estudio.

Una vez mezclado los materiales se apreció que la mezcla estaba muy seca y poco plástica, por lo que se le debió incorporar más agua. Se agregaron 300 ml más, quedando finalmente con un % de humectación igual a 20.75%.

Un factor importante de mencionar corresponde a la presión alcanzada en la prensa, la que fue de 600 PSI, y lo óptimo es que llegue como mínimo a los 850 PSI para alcanzar un buen grado de compactación, y por ende, eliminación del aire existente en la mezcla.



ENSAYO N°2

FABRICACION DE PLACAS POR EXTRUSION CON 10% PUZOLANA (-0,6 mm.)

90% MEZCLA DE REFERENCIA (80Arcilla / 20Caolín)

Cálculos de formulación. Fecha de Ensayo: 22/04/2004

- **% Humedad**

ARCILLA	=	6,11
CAOLIN	=	4,67
PUZOLANA	=	0,15

- **Kg. de Pasta 20,5% Humedad a preparar = 35 Kg.**

- **Kg. de Ingredientes puros**

ARCILLA	=	20,03
CAOLIN	=	5,01
PUZOLANA	=	2,78
AGUA	=	7,18
Total Formulación	=	35,00

- **Kg. de Ingredientes en estado natural**

ARCILLA	=	21,34
CAOLIN	=	5,25
PUZOLANA	=	2,78
AGUA	=	5,63
Total Formulación	=	35,00

- **Determinación de Humedades en mezcla**

Mezclador = 20,45%

Antes extrusión = 19,86%

Después extrusión = 19,77%

- **Fuerza promedio aplicada en prensa: 830 psi**

PLACA EM -2 - 1

Peso placa yeso: 4,18 Kg.

Peso placa pasta: 5,58 Kg.

Medidas: 31,0 x 28,7 x 3,3 cm.

PLACA EM -2 - 2

Peso placa yeso: 4,57 Kg.

Peso placa pasta: 5,66 Kg.

Medidas: 31,1 x 28,7 x 3,4 cm.

PLACA EM -2 - 3

Peso placa yeso: 4,30 Kg.

Peso placa pasta: 5,73 Kg.

Medidas: 31,2 x 28,8 x 3,3 cm.



CONSIDERACIONES

➤ ENSAYO N°2

Debido a lo mencionado anteriormente se debió repetir la formulación anterior, manteniéndose los mismos porcentajes de materiales, cambiándose solamente el % de humectación, pues los 300 ml agregados, tal vez fueron demasiado. Se formuló finalmente con un 20.5 % de humectación con el propósito de que la pasta al incorporarla a la prensa ponga mayor resistencia a la fuerza ejercida sobre ella, es decir, al disminuir la cantidad de agua la mezcla será menos plástica.

Finalmente la fuerza promedio aplicada en la prensa fue de 830 PSI, lo que indica una mejora muy considerable.



ENSAYO N°3

FABRICACION DE PLACAS POR EXTRUSION CON 10% PUZOLANA (- 0,3 +0,15 mm.) 90% MEZCLA DE REFERENCIA (80Arcilla / 20Caolín)

➤ **Cálculos de formulación.** Fecha de Ensayo: 18/05/2004

- **% Humedad**

ARCILLA	=	6,82
CAOLIN	=	4,16
PUZOLANA	=	0,54

- **Kg. de Pasta 20,6% Humedad a preparar = 35 Kg.**

- **Kg. de Ingredientes puros**

ARCILLA	=	20,01
CAOLIN	=	5,00
PUZOLANA	=	2,78
AGUA	=	7,21
Total Formulación	=	35,00

- **Kg. de Ingredientes En estado natural**

ARCILLA	=	21,47
CAOLIN	=	5,22
PUZOLANA	=	2,80
AGUA	=	5,51
Total Formulación	=	35,00

- **Determinación de Humedades en mezcla**

Mezclador = 19,27%

Antes extrusión = 19,14 %

Después extrusión = 18,78%

- **Fuerza promedio aplicada en prensa: 990 psi**

PLACA EM -3 - 1

Peso placa yeso: 4,30 Kg.

Peso placa pasta: 5,73 Kg.

Medidas: 31,0 x 28,9 x 3,3 cm.

PLACA EM -3 - 2

Peso placa yeso: 4,92 Kg.

Peso placa pasta: 5,83 Kg.

Medidas: 31,1 x 28,8 x 3,3 cm.

PLACA EM -3 - 3

Peso placa yeso: 4,46 Kg.

Peso placa pasta: 6,01 Kg.

Medidas: 31,2 x 28,8 x 3,3 cm.



CONSIDERACIONES

➤ ENSAYO N°3

Desde esta formulación se comienza a ocupar puzolana con distintos tamices.

Se sometió el material a un tamizado en serie, como se explica anteriormente, del cual se decidieron hacer los siguientes cortes: -20 + 35; -35 + 50; -50 + 100.

En esta formulación se utilizó el corte **-50 + 100**, es decir, se ocupará la puzolana que quede bajo el tamiz 50 y sobre el tamiz 100.

Se formuló con un 20.6% de humectación, debido a que por trabajar con partículas más pequeñas, se tendrá mayor superficie específica que con el material utilizado anteriormente (bajo malla 30), por lo que se la mezcla necesitará una mayor cantidad de agua para ser humectada satisfactoriamente. No se quiso emplear más allá de un 20.6%, pues no hay que olvidar que si se le aplica mucho agua puede alcanzar una presión muy baja en la prensa.

La fuerza promedio alcanzada en la prensa fue de 990 PSI, valor que es bastante bueno.



ENSAYO N°4

FABRICACION DE PLACAS POR EXTRUSION CON 10% PUZOLANA (- 0,50 + 0,30) mm. 90% MEZCLA DE REFERENCIA (80Arcilla / 20Caolín)

➤ **Cálculos de formulación.** Fecha de Ensayo: 25/05/2004

% Humedad	ARCILLA	= 5,06
	CAOLIN	= 4,99
	PUZOLANA	= 1,11

• Kg. de **Pasta 20,8% Humedad** a preparar = 35 Kg.

• Kg. de **Ingredientes puros**

ARCILLA	= 19,96
CAOLIN	= 4,99
PUZOLANA	= 2,77
AGUA	= 7,28
Total Formulación	= 35,00

• Kg. de **Ingredientes En estado natural**

ARCILLA	= 21,02
CAOLIN	= 5,25
PUZOLANA	= 2,80
AGUA	= 5,93
Total Formulación	= 35,00

• **Determinación de Humedades en mezcla**

Mezclador	= 20,34%
Antes extrusión	= 19,25 %
Después extrusión	= 19,23%

Se agregó sólo 5,82 lt y no 5,93 ya que la mezcla se apreció al tacto bastante homogénea y adecuada por tanto **% de humectación final es de 20,50%**.

• **Fuerza promedio aplicada en prensa: 990 psi**

PLACA EM -4 - 1

Peso placa yeso: 4,84 Kg.

Peso placa pasta: 6,08 Kg.

Medidas: 31,0 x 28,8 x 3,5 cm.

PLACA EM -4 - 2

Peso placa yeso: 4,72 Kg.

Peso placa pasta: 5,99 Kg.

Medidas: 31,2 x 28,8 x 3,5 cm.

PLACA EM -4 - 3

Peso placa yeso: 5,35 Kg.

Peso placa pasta: 6,17 Kg.

Medidas: 31,2 x 29,0 x 3,6 cm.



CONSIDERACIONES

➤ ENSAYO N°4

Aquí se trabajó con el corte $-35 + 50$. Por formulación se decidió trabajar con un 20.8 % de humectación, pero al momento de humectar la mezcla, en vez de agregar 5.83 lt de agua (según cálculos de humectación con el 20.8%), solamente se le incorporaron 5.93 lt, quedando finalmente con una humectación del 20.5%.

En la prensa se obtuvo una fuerza promedio aplicada de 900 PSI.



ENSAYO N°5

FABRICACION DE PLACAS POR EXTRUSION CON 10% PUZOLANA (- 0,85 + 0,50) mm. 90% MEZCLA DE REFERENCIA (80Arcilla / 20Caolín)

➤ Cálculos de formulación.

Fecha de Ensayo: 8/06/2004

- **% Humedad**

ARCILLA	=	4,06
CAOLIN	=	4,66
PUZOLANA	=	0,84

- **Kg. de Pasta 20,5% Humedad a preparar = 35 Kg.**

- **Kg. de Ingredientes puros**

ARCILLA	=	20,03
CAOLIN	=	5,01
PUZOLANA	=	2,78
AGUA	=	7,18
Total Formulación	=	35,00

- **Kg. de Ingredientes En estado natural**

ARCILLA	=	20,88
CAOLIN	=	5,25
PUZOLANA	=	2,80
AGUA	=	6,07
Total Formulación	=	35,00

- **Determinación de Humedades en mezcla**

Mezclador	=	20,41%
Antes extrusión	=	19,30 %
Después extrusión	=	20,08%

- **Fuerza promedio aplicada en prensa: 800 psi**

PLACA EM -5 - 1

PLACA EM -5 - 2

PLACA EM -5 - 3

Peso placa yeso: 4,58 Kg.

Peso placa yeso: 4,32 Kg.

Peso placa yeso: 4,28 Kg.

Peso placa pasta: 5,43 Kg.

Peso placa pasta: 5,63 Kg.

Peso placa pasta: 5,39 Kg.

Medidas: 31,0 x 28,9 x 3,2 cm.

Medidas: 31,0 x 28,8 x 3,3 cm. Medidas: 31,0 x 28,8 x 3,2 cm.



CONSIDERACIONES

➤ ENSAYO N°5

Para finalizar con los cortes establecidos se termina con el corte $-20 + 35$ y se trabaja con un 20.5% de humectación.

La fuerza promedio alcanzada en la prensa fue de 800 PSI.

Observaciones:

Se decide utilizar puzolana en estado natural en lo que respecta a su granulometría (solamente se le retiró el material gruesos, sobre malla 20) y además se cambió la proporción de ésta en la mezcla. Lo anterior con la finalidad de analizar hasta que punto la cantidad de puzolana hace posible la trabajabilidad del material final. Se hicieron dos formulaciones más.

A granulometría constante en ambas formulaciones, la primera se hizo con un 20% de puzolana y la segunda con un 30%.



ENSAYO N°6

FABRICACION DE PLACAS POR EXTRUSION CON 20% PUZOLANA EN ESTADO NATURAL (-0,85 mm)

80% MEZCLA DE REFERENCIA (80Arcilla / 20Caolín)

➤ Cálculos de formulación. Fecha de Ensayo: 14/07/2004

• % Humedad	ARCILLA	= 5,53
	CAOLIN	= 4,70
	PUZOLANA	= 0,73

• Kg. de Pasta 20,5% Humedad a preparar = 35 Kg.

• Kg. de Ingredientes puros

ARCILLA	= 17,81
CAOLIN	= 4,45
PUZOLANA	= 5,56
AGUA	= 7,18
Total Formulación	= 35,00

• Kg. de Ingredientes En estado natural

ARCILLA	= 18,85
CAOLIN	= 4,67
PUZOLANA	= 5,61
AGUA	= 5,87
Total Formulación	= 35,00

• Determinación de Humedades en mezcla

Mezclador = 21,11%

Antes extrusión = 21,05 %

Después extrusión = 20,81%

Se agregó un 300 ml mas de agua adicional por tanto el % de humectación es de 21,19%

• Fuerza promedio aplicada en prensa: 820 psi

PLACA EM -6 - 1

Peso placa yeso: 4,30 Kg.

Peso placa pasta: 5,45 Kg.

Medidas: 31,1 x 28,8 x 3,0 cm.

PLACA EM -6 - 2

Peso placa yeso: 4,12 Kg.

Peso placa pasta: 5,63 Kg.

Medidas: 31,2 x 29,0 x 3,2 cm.

PLACA EM -6 - 3

Peso placa yeso: 4,35 Kg.

Peso placa pasta: 5,13 Kg.

Medidas: 31,1 x 28,9 x 3,0 cm.



CONSIDERACIONES

➤ ENSAYO N°6

Como se dijo anteriormente se agregó puzolana en estado natural, en cuanto a su granulometría, y se formuló con un 20.5% de humectación.

Debido a apreciarse carencia de agua, se le incorporaron 300 ml más, quedando con un 21.19% de humectación.

Al momento de premoldear y moldear la pasta se aprecia cierta dificultad, ya que por trabajar con mayor cantidad de puzolana, a diferencia de las formulaciones anteriores, cuesta más poder definir la forma. Más aún al momento de desmoldar la placa, pues a pesar de aplicar el suficiente desmoldante, este proceso fue muy dificultoso, debido a que la pasta quedaba muy adherida a la tapa del molde metálico, por lo que se debió trabajar con mucho cuidado para evitar algún tipo de lesión en el material.

La fuerza promedio alcanzada en la prensa fue de 820 PSI.



ENSAYO N°7

FABRICACION DE PLACAS POR EXTRUSION CON 30% PUZOLANA EN ESTADO NATURAL (- 0,85 mm.)

70% MEZCLA DE REFERENCIA (80Arcilla / 20Caolín)

➤ Cálculos de formulación.

Fecha de Ensayo: 15/07/2004

% Humedad	ARCILLA	= 5,53
	CAOLIN	= 4,70
	PUZOLANA	= 0,73

- Kg. de Pasta 20,3% Humedad a preparar = 35 Kg.

- Kg. de Ingredientes puros

ARCILLA	= 15,62
CAOLIN	= 3,91
PUZOLANA	= 8,37
AGUA	= 7,10
Total Formulación	= 35,00

- Kg. de Ingredientes En estado natural

ARCILLA	= 16,53
CAOLIN	= 4,10
PUZOLANA	= 8,43
AGUA	= 5,93
Total Formulación	= 35,00

- Determinación de Humedades en mezcla

Mezclador = 21,77%

Antes extrusión = 21,16 %

Después extrusión = 21,12%

Se agregó un 700 ml mas de agua adicional por tanto el % de humectación es de 22,07%

- Fuerza promedio aplicada en prensa: 820 psi

PLACA EM -7 - 1

PLACA EM -7 - 2

PLACA EM -7 - 3

Peso placa yeso: 4,89 Kg.

Peso placa yeso: 5,36 Kg.

Peso placa yeso: 4,72 Kg.

Peso placa pasta: 5,58 Kg.

Peso placa pasta: 5,94 Kg.

Peso placa pasta: 5,28 Kg.

Medidas: 31,2 x 28,8 x 3,3 cm.

Medidas: 31,2 x 28,8 x 3,3 cm. Medidas: 31,1 x 28,8 x 3,2 cm.



CONSIDERACIONES

➤ ENSAYO N°7

Finalmente se hace la última mezcla con un 20.3% de humectación, incorporándosele posteriormente 700 ml más de agua, por lo que finalmente quedó con un 22.07%, alcanzando 820 PSI en la prensa.

Al igual que la formulación anterior se debió trabajar con especial cuidado en el proceso de moldeado y premoldeado, ya que presentó la misma complicación, siendo la etapa de desmoldaje la que produjo mayores problemas.

3.3.3 MEZCLADO Y HUMECTACION

En este proceso se incorporan los materiales al mezclador de modo que quede una mezcla homogénea. Una vez que comienza a funcionar el equipo se van incorporando los materiales en forma progresiva y a lo largo del mezclador, cuando ya están todos allí se deja aproximadamente unos cinco minutos que se mezclen, para luego incorporar el agua.

El agua se agrega con una regadera y en constante movimiento para evitar la formación de grumos. Por otro lado, si bien es cierto que se calculó una determinada cantidad de agua para su incorporación, si se aprecia que la mezcla está lo suficientemente plástica sin que se halla agregado toda el agua, se procede a no agregar más y por el contrario si se ve que le falta se le agrega más de lo que se calculó. Posteriormente, ya sea que se le agregue o quite agua se debe recalcular o determinar con qué porcentaje de humectación quedó finalmente la mezcla.

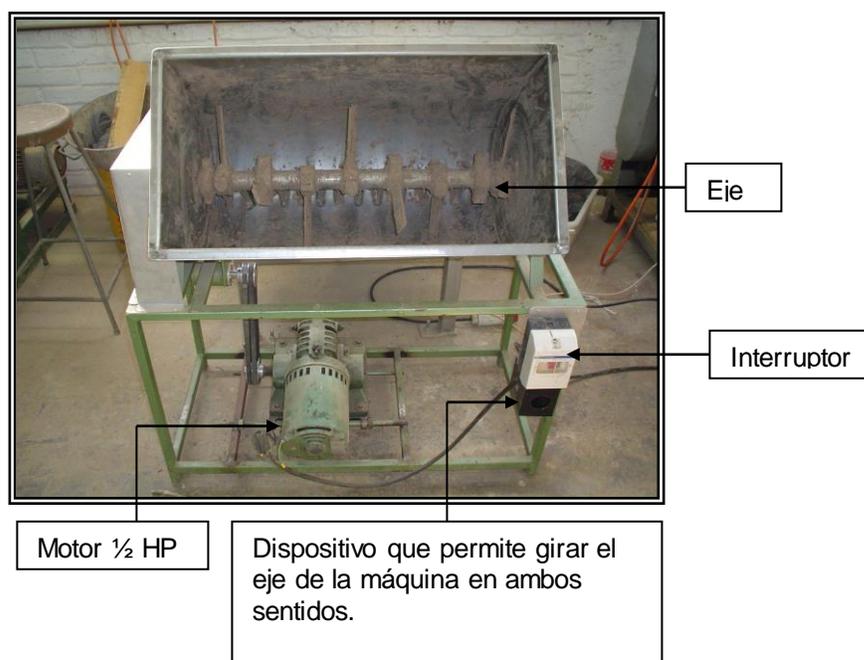


Foto N°9:Humectador y mezclador.

Observación:

Es importante mencionar que en un comienzo el mezclador disponía de un motor de $\frac{1}{4}$ HP y además su eje giraba en un solo sentido, por lo que la humectación desde el punto de vista de su potencia, se hacía muy difícil de ejecutar ya que se debía detener el equipo constantemente para redistribuir la mezcla y así lograr en cierto modo ayudar al motor, pues las arcillas una vez que desarrollan su plasticidad o entran en su etapa plástica se hacen muy difíciles de manejar. Para concluir se debía sacar el material y terminar de mezclar en forma manual.

Ante esta situación se decide cambiar el motor por uno de $\frac{1}{2}$ Hp y además se le incorpora un dispositivo que permite girar el eje del mezclador en ambos sentidos alternadamente, por lo que facilita considerablemente este proceso y mejora así la homogeneidad de la mezcla, permitiendo además dejar el material en el mezclador sin la necesidad de tener que sacarlo para terminar de mezclarlo



Foto N°10: Motor de $\frac{1}{2}$ HP

manualmente. Este cambio ocurre casi al finalizar el proceso de fabricación de las placas, pues en su mayoría se trabajó bajo las condiciones iniciales.

Por otro lado, si bien es cierto que se mejoró considerablemente el funcionamiento del equipo, vale decir, que con un motor aún mayor de 1 o 2 HP el mezclador funcionaría en forma óptima, pues aún en algunas ocasiones tiene cierta dificultad para girar, lo que además está relacionado directamente con el tipo aditivo con que se esté trabajando.

En lo que se refiere al período de humectación, éste fluctúa entre 12 y 24 horas, dependiendo de la evolución que presente la mezcla.



3.3.4 EXTRUSION

Una vez que se aprecia que la mezcla posee una humedad óptima se procede a sacarla del mezclador para incorporarla a la máquina extrusora, lugar del cual sale mucho más compacta y homogénea.

El grado de humectación de la masa va variando en cada proceso, pues en cada uno pierde un poco de humedad. Es por esto que se deben ir tomando muestras. Se saca una muestra antes de sacar del mezclador, otra una vez que está afuera de éste antes de ser incorporada a la extrusora y por último una cuando la mezcla sale de la extrusora. Es por esto que se habla de varias humedades; humedad en el mezclador, humedad antes de extrusión y humedad después de extrusión. A pesar que las variaciones son mínimas, esto sirve para llevar un control y un seguimiento detallado del proceso de cada formulación, lo que posteriormente se traduce en la mejora de posteriores formulaciones.

El proceso de extrusión comienza tras habersele conectado la bomba de vacío al equipo, ya que permite extraer el aire de su interior y hacer que no quede aire retenido en la mezcla final.

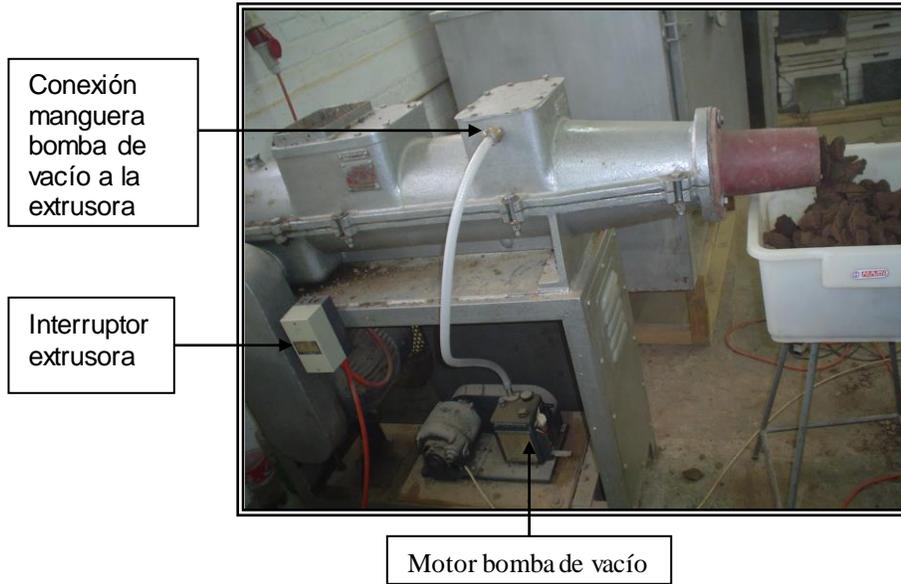


Foto N°11: Extrusora unida a la bomba de vacío



Foto N°12: Interior de máquina extrusora.

Una vez que están en funcionamiento ambos equipos se procede a incorporar la pasta a la extrusora en forma continua hasta que ésta logra salir en el otro extremo. Cuando esto ocurre esta misma masa se reincorpora a la extrusora para lograr una extrusión sin presencia de aire en el equipo y así obtener una masa lo más compacta posible.



Foto N°13: Incorporación de la pasta a la extrusora



Foto N°14: Pasta saliendo de la extrusora.

3.3.5 PREMOLDEADO

El premoldeado se lleva a cabo para facilitar la incorporación de la masa al molde metálico, pues al premoldear ya se tiene una forma parecida a la que tendrá finalmente, lo que además permite eliminar significativamente el aire al momento de ser colocada en el molde metálico.

Para este proceso se utiliza un marco o molde compuesto por listones y unidos con clavos. La idea es que las dimensiones de los lados sean las necesarias para que faciliten la incorporación de la masa al molde metálico, es decir, que sean levemente inferior.

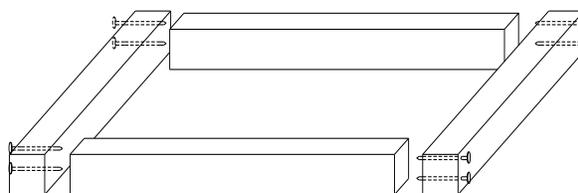


Fig. N°1 : Molde de madera utilizado en el premoldeado

En cuanto a la altura se debe dejar un poco más alta que la requerida (3 cm), debido a que en la prensa se pierde material al aplicársele presión y es precisamente de aquí de donde la placa debe salir con un espesor de aproximadamente 3 cm, espesor requerido para posteriormente ser ensayadas. El proceso en sí, corresponde a la colocación de pasta ya extrusada en el molde de madera, al cual se va presionando con las manos de tal manera que se produzca una pasta compacta.



Foto N°15: Proceso de premoldeado



Foto N°16: Pasta en etapa de premoldeado, antes de retirar molde de madera.



Foto N°17: Después de sacar de molde de madera.

Una vez que se le ha dado la forma inicial a la pasta se procede a sacar del molde de madera, quedando en condiciones de ser incorporada al molde metálico.

3.3.6 MOLDEADO Y PRENSADO

El molde está compuesto en su totalidad de acero por piezas de 1,2 cm de espesor, perfectamente estanco y con la posibilidad de desarmarlo de tal forma de no dañar la estructura de las placas en su primera edad. Conformado por cuatro caras laterales, la tapa y el fondo. Tanto las dos caras laterales N°1 y el fondo, quedan unidas por las caras laterales N°2, las que finalmente son unidas por dos pernos que se fijan con sus respectivas tuercas. La parte inferior o fondo queda sujeta a sus lados introduciéndose en una especie de bisel que estos poseen.

Debido a los esfuerzos a los cuales se somete este molde, el diseño fue reforzado con pernos de tal forma de poder mantener las dimensiones internas y así obtener placas simétricas y semejantes entre sí. Es así como finalmente su diseño está definido como se describe a continuación.

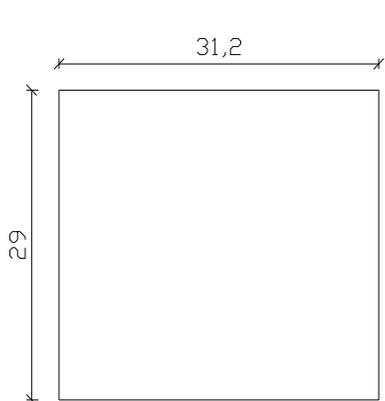


Fig. N°2 : Base del molde

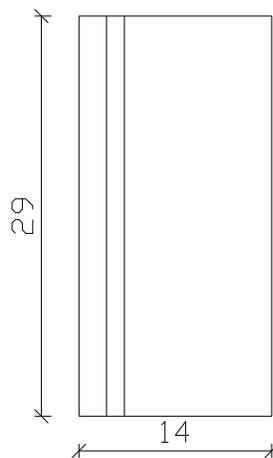


Fig. N°3: Cara lateral N°1

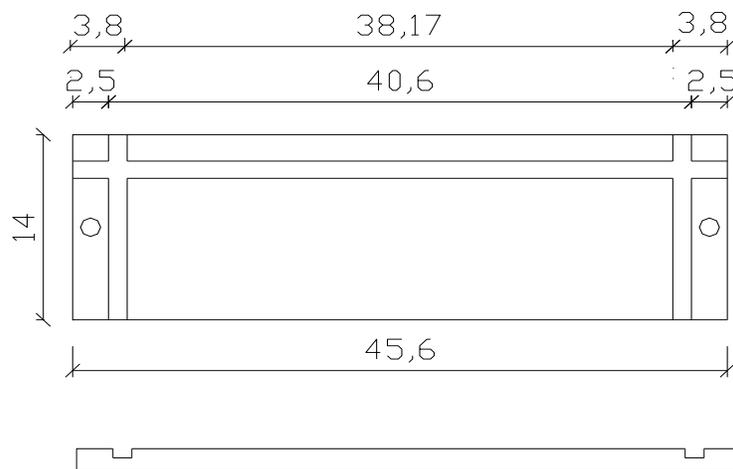


Fig. N°4 : Cara lateral N°2

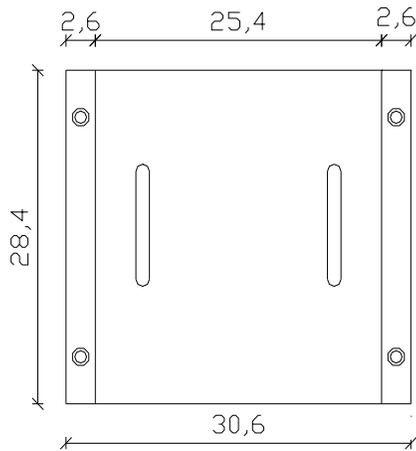


Fig. N°5 : Vista en planta de la
tapa del molde

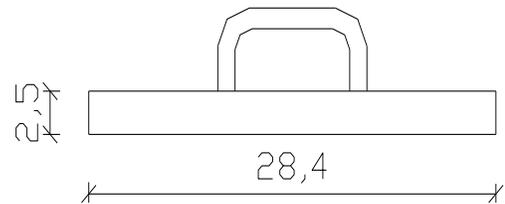


Fig. N°6: Vista lateral de la tapa

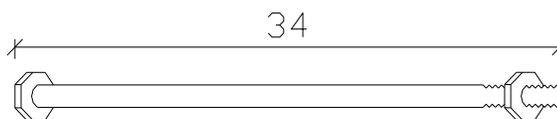


Fig. N°7 : Perno metálico con que se
fija las piezas. Tiene un ϕ
1/2 pulg.

Finalmente al unir todas las piezas que conforman el molde queda de la siguiente manera.

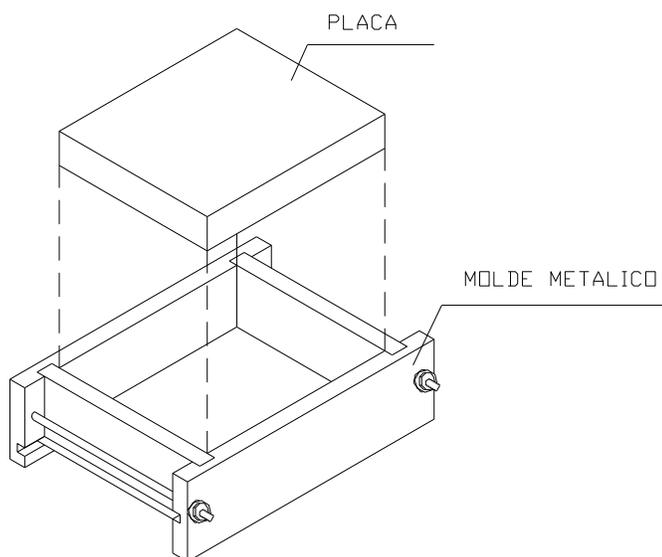


Fig. N°8 : Molde con placa.

El peso final del molde es de 54 Kg. y luego de incorporarle la placa llega a pesar alrededor de 60 Kg., lo que lo hace muy difícil de trasladar y de maniobrar, considerando que la fabricación la hace solamente una persona.

Una vez que el molde está montado o armado, se le aplica a sus cara internas desmoldante, lo que permite posteriormente sacar la placa de su interior de manera más fácil.

La masa, una vez que está premoldeada es puesta en el molde metálico, donde se ajusta a sus aristas para evitar que quede aire retenido, además se deja la superficie lo más regular posible. Posteriormente se coloca la tapa, a la que también se le aplicó desmoldante, y se ajustan los pernos que posee esta última para que quede bien ajustada.



Foto N°18: Incorporación de pasta a molde metálico

Observación:

Es importante decir que la tapa del molde metálico, en un comienzo tenía un espesor de 1 cm., pero debido a que al sometérsele a presión en la prensa, la tapa se deformaba considerablemente, lo que hacía que se perdiera más masa de lo norma, además que no se obtenía el efecto deseado. Esto llevó a tener que aumentar el espesor de la tapa a 2,5 cm., lo que obviamente aumentó el peso final del molde.



Foto N°19: Tapa de molde metálico de 2.5 cm. de espesor

Luego el molde con la placa en su interior es llevado a la prensa, lugar donde se le aplica presión en la parte superior mediante una gata hidráulica. La idea es

lograr que la masa quede lo más compacta posible y obtener un espesor de la placa de aproximadamente 3 cm.

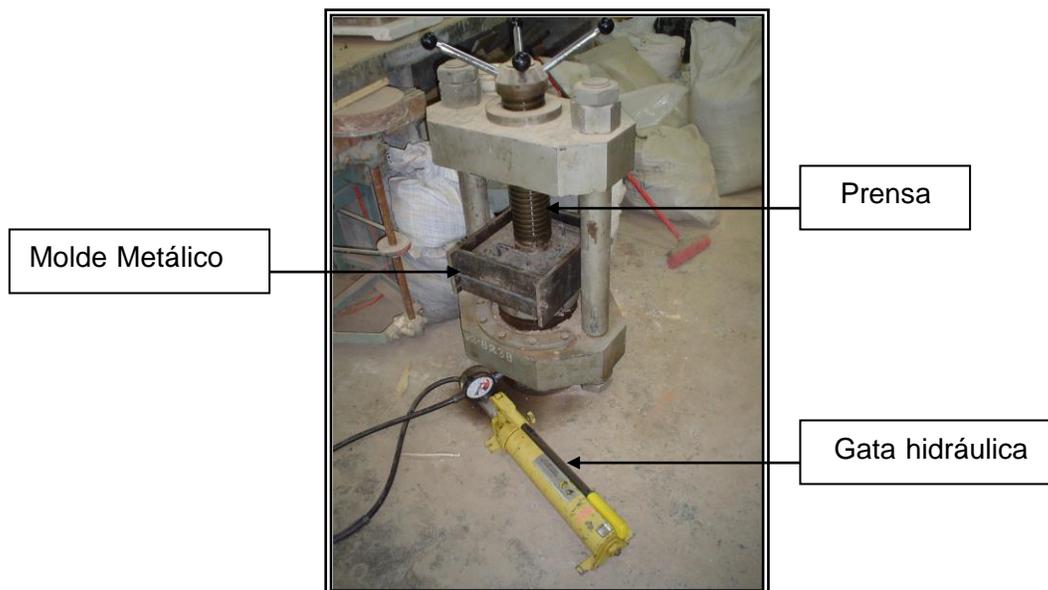


Foto N°20: Molde metálico incorporado a la prensa.

La máxima presión que puede aplicar la gata es de 10.000 PSI, lo que equivale a 703,0697 (Kg / cm²), pero la presión aplicada a las placas varió solamente entre 600 PSI (42,1842 Kg / cm²) y 1000 PSI (70,3070 Kg / cm²).

Se tomó como equivalencia 1 PSI = 703,070 (Kg / cm²). La presión alcanzada está relacionada directamente con el porcentaje de humectación de la mezcla, pues al contener mucha agua presentará poca resistencia a la fuerza que se le aplique y viceversa. Es por esto que es muy importante lograr una humectación adecuada, además que, obviamente, también influirá el porcentaje de aditivo que se suministre o incorpore a la mezcla, por lo que hay que tratar de conjugar estas variables, para obtener resultados óptimos y representativos.

En la foto se observa cómo sale material por los lados de la tapa al aplicársele presión. Es por esta pérdida de material por lo que en el proceso de premoldeado se dejan las placas con un mayor espesor, para que al finalizar queden con un espesor de aproximadamente 3 cm.



Foto N°21: Molde sometido a presión en la prensa

Tras habérsele aplicado presión a la placa se debe esperar un momento para que la gata se estabilice y permita así tomar el registro de la presión máxima alcanzada. Luego se saca la gata hidráulica y se espera unos 5 minutos para que la masa recupere lentamente su posición o dicho de otra forma, para que las partículas se acomoden y retomen su posición.



Foto N°22: Gata hidráulica. Capacidad máxima de presión 10.000 PSI

Posteriormente se suelta la prensa lentamente y se saca el molde metálico, el que luego se desmonta para sacar la placa de su interior. Para evitar la deformación de las placas, son puestas sobre un molde de yeso, que absorbe humedad de forma muy paulatina. Además se fueron volteando las piezas cada cierto tiempo para facilitar el proceso de secado.

Una vez que se saca el molde de la prensa se procede a desmoldar para quitar la placa su interior, proceso que se hace más fácil debido al desmoldante que se le aplica.

Finalmente las placas son puestas sobre moldes de yeso, como se muestra en la foto.



Foto N°23: Placas terminadas listas para ser pesadas y medidas.

3.3.7 SECADO

El secado de las placas consta de dos etapas, una en la que se secan las placas al aire libre, pero dentro del laboratorio, y un secado secundario que se realiza en un secador eléctrico.

Para comenzar el secado inicial, cuando ya se tienen las placas sobre el yeso, primero se procede a pesar y a medir las longitudes de sus lados y su espesor, lo que sirve para conocer la humedad que posee en ese instante además de apreciar las variaciones de dimensiones y de humedad que sufrirá. Es necesario haber pesado el yeso previamente para poder calcular el peso solamente de la placa. Este proceso se lleva a cabo en forma periódica para hacer un seguimiento de la expulsión o pérdida de humedad de las placas. Cuando éstas lleguen a una humedad de un 10 % (se obtuvo tras un seguimiento que se hizo en seminario de Porras) están en condiciones de ser llevadas al secador, ya que con esta humedad disminuye el riesgos de deformación y de ruptura. El secado natural o al aire libre al que se someten las placas hasta alcanzar la humedad requerida comprende un período aproximado de una y media a dos semanas desde que son puestas sobre el molde de yeso.



Foto N°24: Placa lista para ser ingresada al secador.

Al alcanzar dicha humedad al aire libre, las placas son llevadas al secador, donde se sigue un procedimiento bien delicado, para no producir alteración en la forma de las placas.



Foto N°25: Placas al interior del horno de secado



ESTUDIO, CARACTERIZACION Y EVALUACION
DE PUZOLANAS LOCALES EN LA MASA CERAMICA DEL LADRILLO

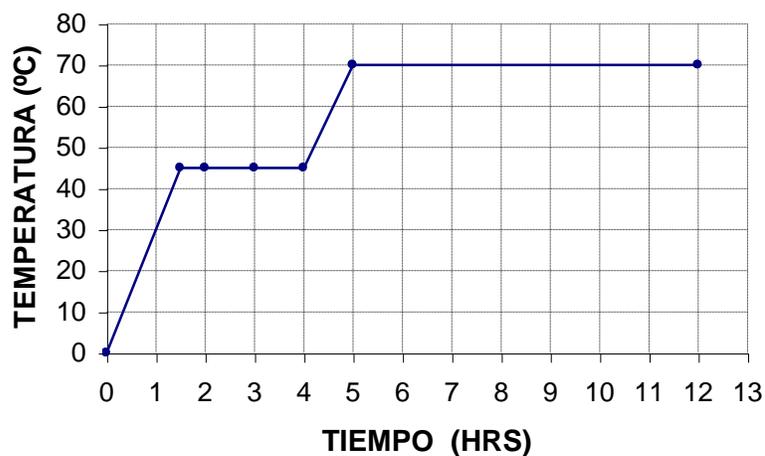


El secado en el horno se llevaba a cavo de acuerdo a los parámetros que se muestran en la siguiente tabla:

Tiempo	Temperatura	Condición	Tipo de circulación	% de humedad
1 h30'	45°C	sistema cerrado	sin recirculación	70% humedad (vapor)
1h	45°C	1/4 abertura	con recirculación	45% humedad
1h	45°C	1/2 abertura	con recirculación	45% humedad
1 h	45°C	total abertura	con recirculación	45% humedad
1h	70°C	1/2 abertura	con recirculación	sin parámetro solo mantener agua en el sistema
12 h	70°C	total abertura	con recirculación	sin parámetro solo mantener agua en el sistema

NOTA: Todo el tiempo que dura el ciclo de secado se mantuvo en el interior un tiesto con agua para producir vapor en el sistema, y así evitar deformaciones o grietas.

CURVA DE SECADO
T° v/s TIEMPO



En este gráfico solamente se expone lo que es temperatura y tiempo, pero como se ve en la tabla anterior se manejan más variables como lo es la condición del sistema, en cuanto a su hermeticidad, si posee o no circulación interna y la presencia y porcentaje de humedad.

Tras el proceso de secado, las placas se dejan enfriar, para realizarles un pequeño lijado, el que permite hacer más regular su superficie antes de ser calcinadas.

3.3.8 CALCINACION

La idea es que este proceso permita obtener placas con una deformación mínima (0.3 mm/m), para contribuir a este resultado la paca es ingresada al horno teniendo el cuidado o la precaución de apoyarla en cinco secciones de soporte, lo que minimiza el riesgo de ser deformada, pues tiene un buen apoyo.

Para la calcinación de las placas se tomaron parámetros de la industria en lo que se refiere a tiempos y temperaturas de cocción, por lo que el tiempo de calcinación se fijó en 14 horas y la temperatura máxima fue de 900 °C.



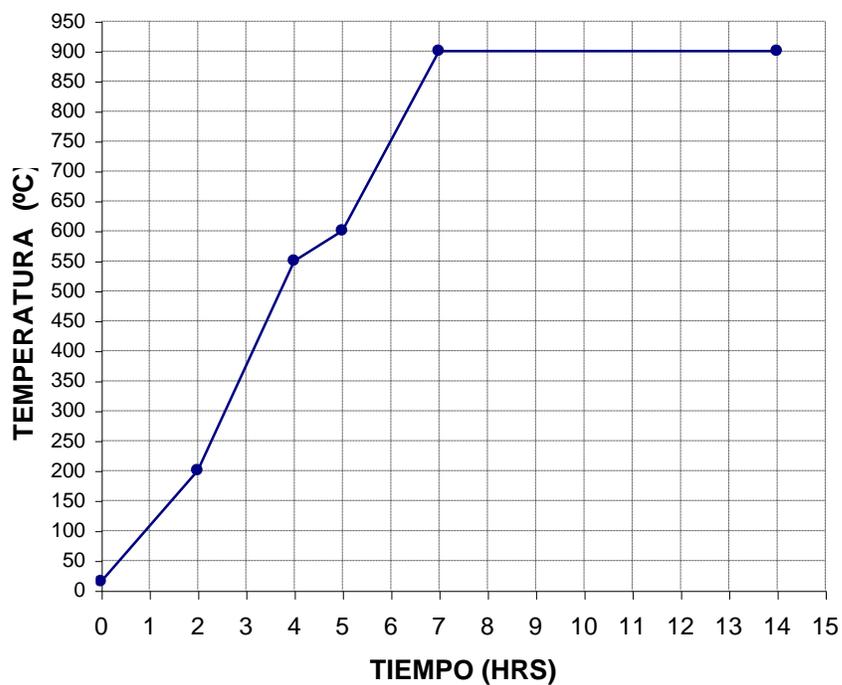
Foto N°26: Equipo en el que se calcinan las

Debido a que no es conveniente que se produzcan cambios muy bruscos de temperatura para no causar deformaciones o incluso la ruptura de las placas se fue aumentando la temperatura paulatinamente. Para esto también se siguió una curva de calcinación, como se muestra a continuación.

Tiempos y temperaturas de calcinación

Tiempo	Temperatura
2 horas	en subir de Temperatura ambiente a 200°C
2 horas	en subir de 200°C a 550°C
1 hora	en subir de 500°C a 600°C
2 horas	en subir de 600°C a 900°C
7 horas	mantener a 900°C

CURVA DE CALCINACION
T° v/s TIEMPO



Las placas calcinadas quedan con la apariencia que se muestra a continuación.



Foto N°27: Placa calcinada

Una vez que las placas están calcinadas se dejan enfriar, para luego ser lijadas. El proceso de lijado busca por finalidad poder dejar la superficie de las placas más planas y más regulares, condición necesaria para poder ser sometidas a los distintos ensayos en forma posterior. Este proceso se llevaba a cabo con una máquina lijadora, como se muestra a continuación. Se debe alcanzar una superficie con una desviación no superior a 0.3 mm/m.

Con este proceso se da por finalizado el proceso de fabricación de las placas, quedando en condiciones de ser adecuadas para someter a prueba de acuerdo a lo que requiera cada ensayo.



3.4 EVALUACIONES

Para poder medir el comportamiento de las probetas fabricadas, se evaluaron como se detalla a continuación.

3.4.1 DENSIDAD

La densidad corresponde a la relación de la masa de la placa y su volumen. Para obtener los valores de las densidades de cada placa, se debían medir las dimensiones de éstas y registrar su peso.

En primer lugar, se medía su largo y ancho, para luego tomar la medida del espesor. Tanto los valores de las dimensiones de sus aristas, como el del espesor, corresponden al valor promedio, pues se hacían varias mediciones y luego se promediaban. Se trabajaba con valores promedios, porque si bien es cierto que las probetas debían ser lo más simétricas posible, no siempre se lograba dar una terminación tan precisa, pues por efectos de la cocción de la arcilla, la placa sufre variaciones en sus dimensiones, por lo que se debían lijar para dar la regularidad a sus caras y aristas. Esto se realizaba para cada una de las placas.

Este proceso se llevaba a cavo antes de ingresar las probetas al conductímetro, pues para calcular la Conductividad Térmica se necesita conocer el valor de la densidad aparente del material seco. La fórmula ocupada para calcular la densidad es la siguiente:

Donde:

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

D: densidad (Kg/m³)

M: Peso seco de la probeta (Kg)

V: Volumen (m³)

3.4.2 ABSORCION

3.4.2.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS.

Para medir absorción una de las placas de 30x30 cm en primer lugar fueron cortadas con una sierra eléctrica en cuatro partes iguales, utilizándose solamente una de cada formulación. Las dimensiones de ésta finalmente fueron de 15 x 15 x 3 cm.

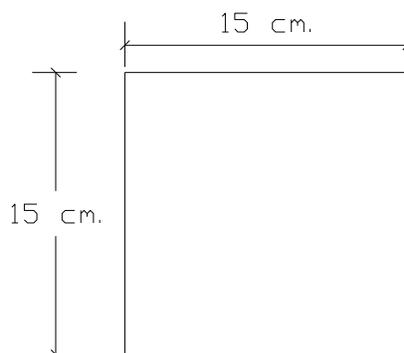


Fig. N°9: Dimensiones de las probetas a ensayar 15 x 15 x 3 cm.

Una vez cortadas se secan y se procede a medir su peso.

3.4.2.2 PROCEDIMIENTO.

Este procedimiento fue realizado según NCh 167.of2001. No obstante esta norma define el ensayo solo para ladrillos, por lo que se tomó como referencia, pues en este caso se ensayaron probetas de 15x15x3 cm. El ensayo consiste básicamente en medir los pesos de las placas secas (P_1) y posteriormente tras haberse mantenido sumergidas en agua durante un período de 24 hrs se pesan nuevamente para obtener su peso húmedo (P_2).

El peso seco se obtiene tras haberse colocado las probetas en un horno ventilado a una temperatura de 110°C, hasta que su peso fuera constante.

En seguida las placas son sumergidas en un recipiente con agua potable durante un período de 24 horas.



Foto N°28: Placas sumergidas en recipiente con agua.



A continuación, se sacan del recipiente, se dejan estilar durante 5 min. aproximadamente y luego se les quita el agua superficial visible con un paño húmedo e inmediatamente se pesan, P_2 .

Luego la absorción se calcula con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{(P_2 - P_1)}{P_2} \times 100$$

Donde:

A : Absorción de agua, en %.

P1 : Masa de la muestra seca, en Kg.

P2 : Masa de la muestra saturada, en Kg.

Los resultados de esta experiencia se detallan en el capítulo de Resultados y Discusión.



3.4.3 CONDUCTIVIDAD TERMICA (λ)

Definición

Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras.

Se determina experimentalmente según la norma NCh.850of83. Es el inverso de la resistencia térmica, se le llama comúnmente Conductividad Térmica. En Chile la conductividad térmica se mide en $w/(m^2 \text{ } ^\circ\text{C})$.

Con respecto a la conductividad térmica, se puede señalar que la conductividad del aire completamente quieto es mucho más baja que la de cualquier material sólido, rasgo dominante en los materiales aislantes de alto vacío, que no llegan a alcanzar la conductividad del aire, ya que en el interior de sus fibras se produce una microconvección. Otro punto interesante de tener en cuenta es que la conductividad del agua es tal, que hace que los materiales húmedos sean menos aislantes que los materiales secos

La conductividad térmica es la forma más utilizada, por no decir la única, con la cual se puede medir la propiedad térmica de un material. Para nuestro caso en particular, será una de las propiedades a estudiar y mejorar.

La NCh.850of83 establece un procedimiento para la determinación de la Conductividad Térmica, bajo régimen de flujo estacionario por el Método del Anillo de Guarda, aplicándose a materiales homogéneos, especialmente usados en la Construcción, como Aislantes Térmicos, cuyas características de densidad, humedad y temperaturas son conocidas.

El Método del Anillo de Guarda que establece la Norma sólo es útil para la determinación de la Conductividad Térmica en temperaturas comprendidas entre los 273 K(0° C) Y 373 K(100°C) aproximadamente.

El principio de este método se basa en una placa metálica (placa caliente ;cuadrada o circular),provista de calefacción eléctrica, rodeada de otra placa, en forma de marco (anillo de guarda), que puede ser calentado independientemente.

Dos probetas del material en prueba , de iguales dimensiones ,de caras planas y paralelas se colocan a cada lado de las placas calientes. Dos placas metálicas, refrigeradas por corriente de agua u otro líquido(placas frías), se encuentran ajustadas a las caras frías de las probetas. El conjunto forma una especie de sándwich en íntimo contacto.

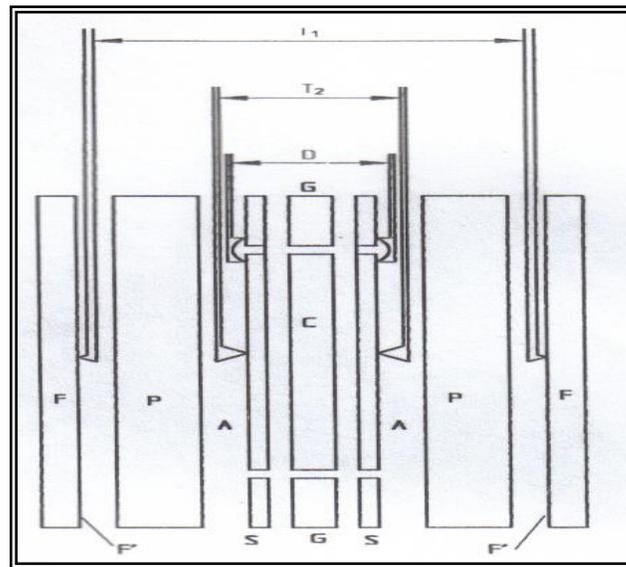
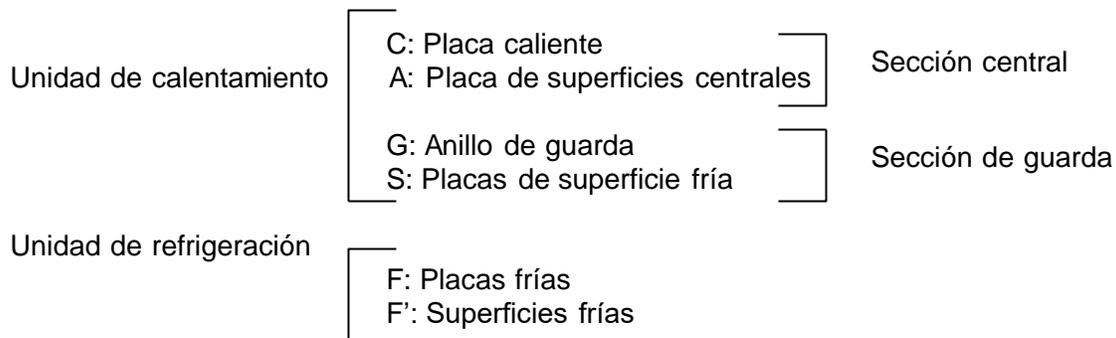


Fig. N°10: Esquema del aparato de placas térmicas con el anillo de guarda.

Donde:



P: probetas

Termopares:

D : Diferenciales (diferencias de temperatura entre A y S).

T2: en las superficies de A (caras calientes).

T1: en las superficies de F' (caras frías)

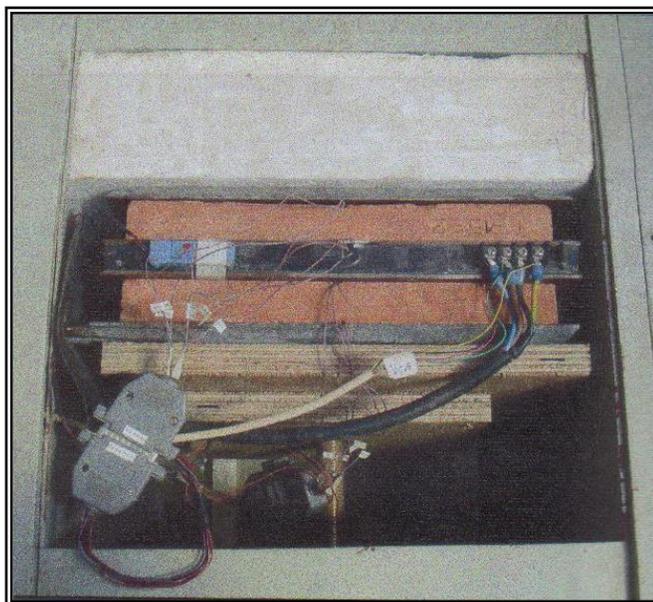


Foto N°29: Vista superior del conductímetro

Al efectuar un ensayo, el Anillo de Guarda es mantenido a la misma temperatura que la placa caliente ; por consiguiente, existe el mismo gradiente de

temperatura en el material que se encuentra junto a él y en la proximidad de la placa caliente. En estas condiciones, el flujo térmico es perpendicular con respecto a las superficies. Además, no hay pérdida de calor en los bordes de la placa caliente.

Al llegar al régimen estacionario, se determina el flujo térmico(ϕ =potencia eléctrica disipada en la placa caliente) que atraviesa el área correspondiente de las 2 probetas y el gradiente medio de temperatura a través de éstas.

La Conductividad Térmica del material se calcula según la fórmula :

$$\lambda = \frac{\phi * e}{2 * A (T_2 - T_1)}$$

Donde :

- λ : Conductividad Térmica (W/m K)
- ϕ : Potencia Eléctrica (W),disipada en la placa caliente
- e : Espesor (m),promedio de ambas probetas
- A : Área (m²),de la placa de calentamiento, correspondiente al área promedio entre la superficie de la placa caliente y la de la abertura central del anillo de guarda .
- $T_2 - T_1$: Temperatura de las caras caliente y fría, respectivamente (K)

3.4.3.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS.

Para este proceso las placas deben tener una superficie plana para evitar que al incorporarlas al conductímetro pueda quedar aire atrapado entre éstas y las placas de medición. Además se les debe hacer unos cortes en cruz en ambas caras de cada placa, con la finalidad de dar lugar a ser puestas las termopares. Dicho proceso se efectuaba con una galletera, logrando un resultado como se muestra a continuación.



Foto N°30: Placas con cortes en cruz listas para incorporar a cámara de climatización.

En este proceso se emplean dos de las tres placas fabricadas. Para poder medir conductividad, las placas deben ser puestas en una cámara de climatización, donde se mantienen durante 48 horas.



Foto N°31: Cámara de climatización .



Foto N°32: Interior de la cámara, donde se aprecia el calefactor.

La idea es poder lograr que las superficies de todas las placas adquieran una emisividad total superior a 0.8 a la temperatura de ensayo.

Tras estos preparativos se está en condiciones de poder incorporar las placas en el conductímetro.

Para comenzar se colocan las Termopares en las placas, como se muestra en las siguiente foto:



Foto N°33: Colocación de Termopares a las placas.



3.4.3.2 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE MEDICION.

El equipo se compone de un depósito de agua que tiene un control de temperatura y que lo mantiene en mas menos 25 °C, esto debido a que el agua potable tiene variaciones de temperatura a través del día. Además tiene una bomba que hace circular el agua a través de las dos placas frías por medio un serpentín, retornando posteriormente al depósito.

También componen el equipo un anillo de guarda que corresponde a la parte exterior de la placa y un anillo de medición, que es la parte interior. En otras palabras corresponde a dos calefactores eléctricos alimentados cada uno con su fuente de poder. El propósito que hallan dos anillos, uno dentro del otro, es mantener la temperatura de la cámara interior (que es la cámara de medición) igual a la de la exterior, para que no se originen flujos térmicos laterales, logrando así un flujo desde la cámara de medición hacia la exterior, pues posee mayor temperatura. Se necesita medir con precisión solamente la energía que se le entrega a la parte interior, por eso que se asume que el calor que se está entregando, es decir el flujo térmico, es el que va a pasar a través del material a medir, solamente en condiciones de régimen estacionario, lo que dicho de otra manera es cuando las dos cámaras están a igual temperatura.

El conductímetro permite ensayar probetas de 30 x 30 cm y con un espesor máximo de 5cm.

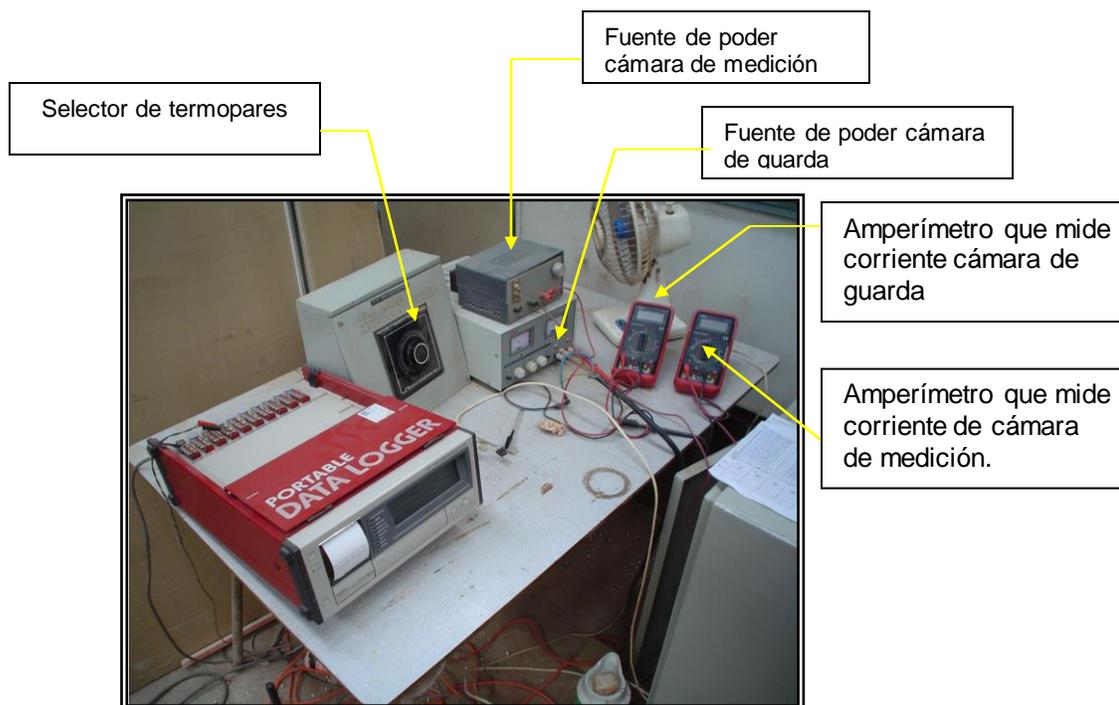


Foto N°34: Equipos de medición

3.4.3.3 PROCEDIMIENTO.

Una vez que las placas son pesadas (peso seco), se procede a colocarlas una a cada lado de la cámara de guarda. Los sensores (termopares) son colocados tres por cada cara de la placa; tres en la cara caliente y tres en el lado frío, esto se hace para cada una de las dos placa. Como en total se colocan 12 termopares, desde la 1 a la 6 mide a la placa fría y desde la 7 a la 12 a la placa caliente o de medición. Además en la planilla se registra una termocupla número 13, 14 y 15. La número 13 corresponde a la termopila, la que en condiciones de régimen estacionario debiera marcar 0.000 milivolts, asegurando así que las mediciones corresponden a los flujos que pasan por las placas en medición e indicando que no hubieron flujos laterales, la 14 en el agua y la 15 mide en el aire dentro del conductímetro.



Finalmente por medio de un tipo de prensa se ajustan las placas, quedando todas unidas.

Es importante decir que las placas eran puestas en el conductímetro el día anterior a la medición, pues el equipo se debía regular para entregar valores reales.

Terminado el proceso de montaje se está en condiciones de comenzar a medir.

Una vez que se alcanza el régimen estacionario se continúa con la experiencia efectuando cada 30 minutos las mediciones de los valores que registran los termopares hasta que 4 series de lecturas consecutivas registraran valores de conductividad que no diferían entre sí en más de un 1%. Cuando se termina la experiencia en el conductímetro, las probetas se vuelven a pesar para ver si el contenido de humedad sufrió algún cambio.

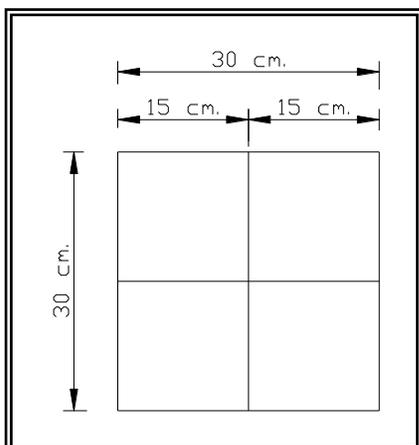
3.4.4 RESISTENCIA MECANICA (COMPRESION)

Esta experiencia se realizó tomando como guía la norma NCh 167.of 2001, pues ésta describe el procedimiento utilizando ladrillos y en este caso se ensayaron probetas de otras dimensiones.

Debido a lo mencionado anteriormente, los resultados que se obtuvieron sólo servirán como una referencia de lo que se podría esperar si se fabrican ladrillos con las formulaciones escritas anteriormente.

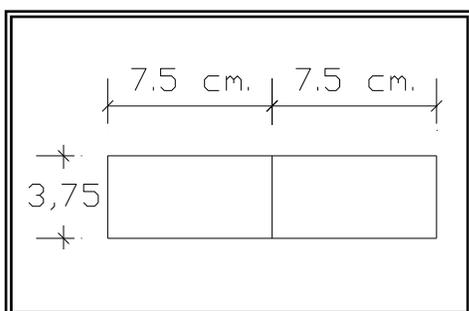
3.4.4.1 PREPARACION DE LAS PROBETAS.

A continuación se muestra cómo se dimensionaron las probetas a ensayar. Es importante mencionar que las placas en su mayoría fueron cortadas con una sierra eléctrica antes e ser calcinadas, pues así se evita algún tipo de fractura del material, lo que disminuiría su resistencia al momento de aplicarle presión.



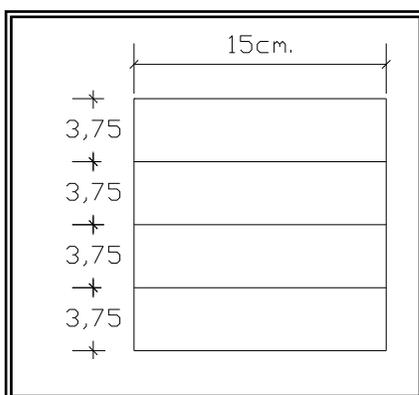
En primer lugar la placa de 30x30 cm se divide en cuatro partes iguales, quedando cuatro trozos de 15 x 15cm.

Fig. Nº11: Dimensiones de la probeta



Y para terminar se corta nuevamente uno de estos trozos en dos partes iguales, quedando de 7.5 x 3.0 x 3.0 cm cada uno.

Fig. Nº12: Dimensiones de la reducción de tamaño de la probeta



Luego se toma uno de esos trozos de 15 x 15 cm. y se divide nuevamente en cuatro partes, lográndose obtener probetas de 15 x 3.0 x 3.0 cm., debido a que el espesor de la sierra disminuye el tamaño de 3.5cm a 3.0 cm.

Fig. Nº13: Reducción del tamaño de la probeta a ensayar

Una vez que se tienen las probetas con las dimensiones de 7.5 x 3.0 x 3.0 cm. están en condiciones de poder ser ensayadas.

3.4.4.2 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO.

Las probetas fueron ensayadas en el equipo INSTRON, perteneciente al CATEM en las inmediaciones de la Universidad del Bío-Bío. Este equipo tiene una capacidad máxima de carga de 4000 a 4500 Kg.

Funciona de forma electrónica, lo que permite que se puedan incorporar los parámetros requeridos para el ensayo. Esto se hace desde un panel de control que funciona en forma digital, lo que facilita mucho el proceso de medición, pues se digitaliza la carga máxima que se quiere aplicar, que correspondía a 4000 Kg., este valor se ingresaba con la finalidad de proteger el equipo, ya que si el material sobrepasaba ese valor se detenía en forma automática.



Foto N°35: Equipo de medición de resistencia mecánica INSTRON.



Foto N°36: Panel de control del equipo INSTRON.



3.4.4.3 PROCEDIMIENTOS.

Como se mencionó anteriormente las probetas a ensayar tenían las siguientes dimensiones: 7.5 x 3.0 x 3.0 cm.

Antes de ser incorporadas al equipo era necesario conocer sus dimensiones y por ende el valor del área de aplicación de la fuerza. En este caso el área de aplicación correspondía a la cara que tenía 7.5 x 3 cm, pero como éstas no siempre eran simétricas sus valores eran muy aproximados, por lo que se medían cuidadosamente y sus valores quedaban registrados en una planilla diseñada para este proceso.

Una vez comenzadas las mediciones se pudo apreciar que los valores iban a ser elevados, pues se llegaba a los 3000 Kg. y la probeta aún seguía poniendo resistencia a la sollicitación. Se llegó a los 4500 Kg. y se tuvo que detener el ensayo debido que ésta era la carga máxima que proporcionaba el equipo.

Ante esta situación se decidió disminuir el tamaño de la probeta, aunque no era recomendado, ya que al efectuar el corte con la sierra eléctrica y considerando que las probetas estaban calcinadas, se corría el riesgo que se originaran fracturas en el material, lo que tal vez arrojaría valores no representativos del ensayo.

Las dimensiones finales de la superficie de aplicación de la carga con que se hicieron los ensayos en una segunda instancia, eran de alrededor de 3.0 x 2.8 cm. En el capítulo de Resultados y Discusión se detallan todos los valores.



4.0 CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION



4.0 CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 PROCESABILIDAD DE LAS COMPOSICIONES ARCILLA / PUZOLANA.

En general, la aplicación de puzolana a la mezcla arcilla / caolín no presentó mayores problemas en el proceso de fabricación de las placas, pues desde que se comienza el proceso de mezclado en seco en la extrusora la puzolana se mezcla fácilmente con el resto del material.

En lo que se refiere a puzolana incorporada en un 10% a la mezcla no se aprecia mayor alteración en dicho proceso, sobre todo con granulometrías finas. Ahora, cuando se incorpora un 20% y 30% de puzolana en estado natural, desde el punto de vista de su granulometría, se logra apreciar cierta alteración en las etapas de premoldeado, moldeado y desmolde; pues la masa tendía a disgregarse o separarse y se hacía menos moldeable. Precisamente en la última etapa el porcentaje de puzolana incorporado a la masa se hizo notar cuando se aplica un 20% y 30%, complicando un poco el proceso, ya que a pesar de aplicar desmoldante, costaba mucho sacar la placa del molde metálico, debiéndose actuar con mucho cuidado para no dañar la estructura de la probeta.



4.2 INFLUENCIA DE LA PRESION EN LA DENSIDAD DE LAS PROBETAS.

En la tabla N°1 se encuentran los resultados de los ensayos evaluados, para estructurar el efecto de la presión sobre la Densidad de las Probetas.

TABLA N°1: “EFECTO DE LA PRESION DE MOLDEO SOBRE LA DENSIDAD DE LA PLACA CERAMICA.”

Granulometría	Presión Promedio (PSI)	Densidad (Kg/m ³)
(Puzolana - 0.6 mm)	600	1836
(Puzolana - 0.6 mm)	830	1841

Sobre la base de estos datos se puede concluir que la presión de moldeo no ejerce un efecto significativo sobre la densidad de las placas cerámicas, ya que al utilizar la misma granulometría y aplicar distintas presiones se aprecia que la diferencia en sus densidades finales es mínima.

4.3 INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE LA PUZOLANA SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA MASA CERAMICA.

4.3.1 DENSIDAD.

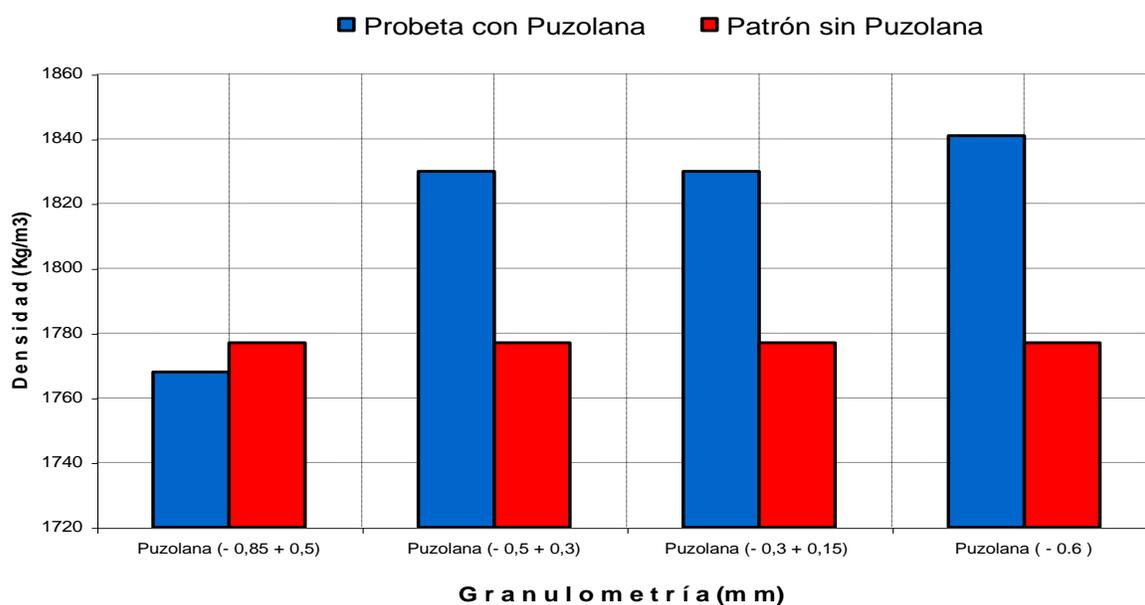
En la tabla N°2 se muestran los datos de densidad de la masa cerámica para cada una de las formulaciones caracterizadas por la granulometría de la puzolana incorporada a la masa cerámica.

TABLA Nº2: “PRESIONES PROMEDIO Y DENSIDADES DE CADA FORMULACION.”

Granulometría (mm)	Densidad (Kg/m ³)
Puzolana (- 0,85 + 0,5)	1768
Puzolana (- 0,5 + 0,3)	1830
Puzolana (- 0,3 + 0,15)	1830
Puzolana (- 0.6)	1841
Patrón (sin Puzolana)	1777

De los datos de la tabla se desprende que la incorporación de puzolana, a la pasta cerámica, en diferentes granulometrías, lleva a un aumento de la densidad de las placas, un hecho que puede ser racionalmente interpretado sobre la base del aporte de finos de la puzolana a la mezcla. Este efecto puede ser mejor visualizado a través del GRAFICO Nº1.

GRAFICO Nº1: “DENSIDAD DE LAS PROBETAS FABRICADAS INCORPORANDO 10% DE PUZOLANA DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS.”



En el gráfico N°1 se logra apreciar un aumento de la densidad a medida que disminuye su granulometría. Un hecho esperable, en términos de empaquetamiento de partículas.

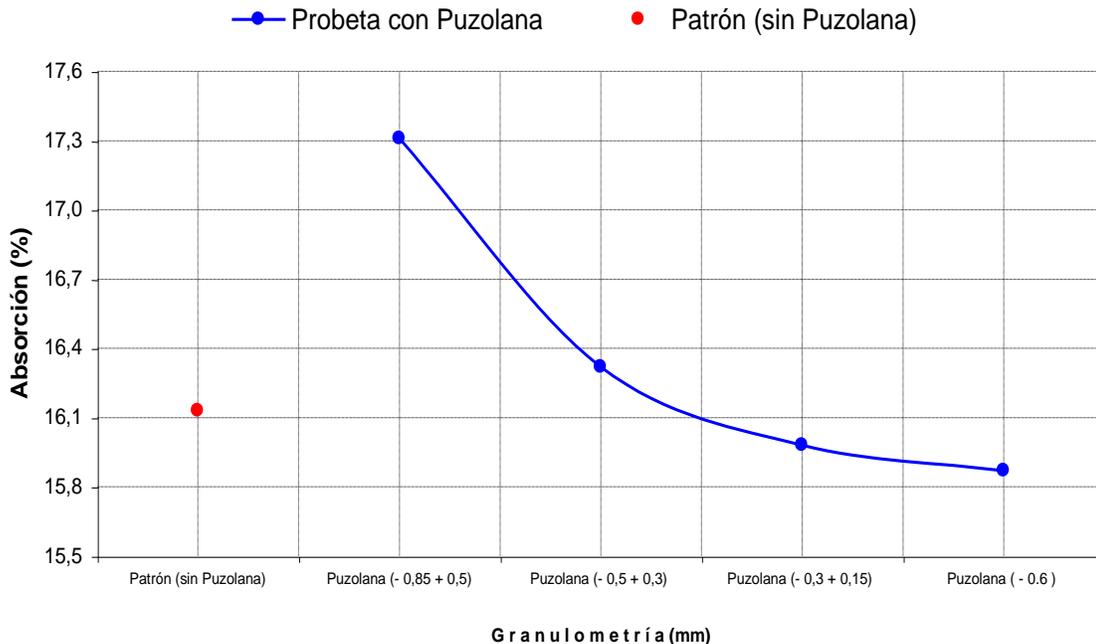
4.3.2 ABSORCION.

En la tabla N°3 se muestran los datos de la absorción de las placas cerámica caracterizadas por la granulometría de la puzolana incorporada a la masa cerámica, a niveles de 10% de puzolana.

TABLA N°3: “VALORES DE ABSORCION SEGUN GRANULOMETRIA”

Granulometría (mm)	Absorción (%)
Puzolana (- 0,85 + 0,5)	17,31
Puzolana (- 0,5 + 0,3)	16,32
Puzolana (- 0,3 + 0,15)	15,98
Puzolana (- 0.6)	15,87
Patrón (sin Puzolana)	16,13

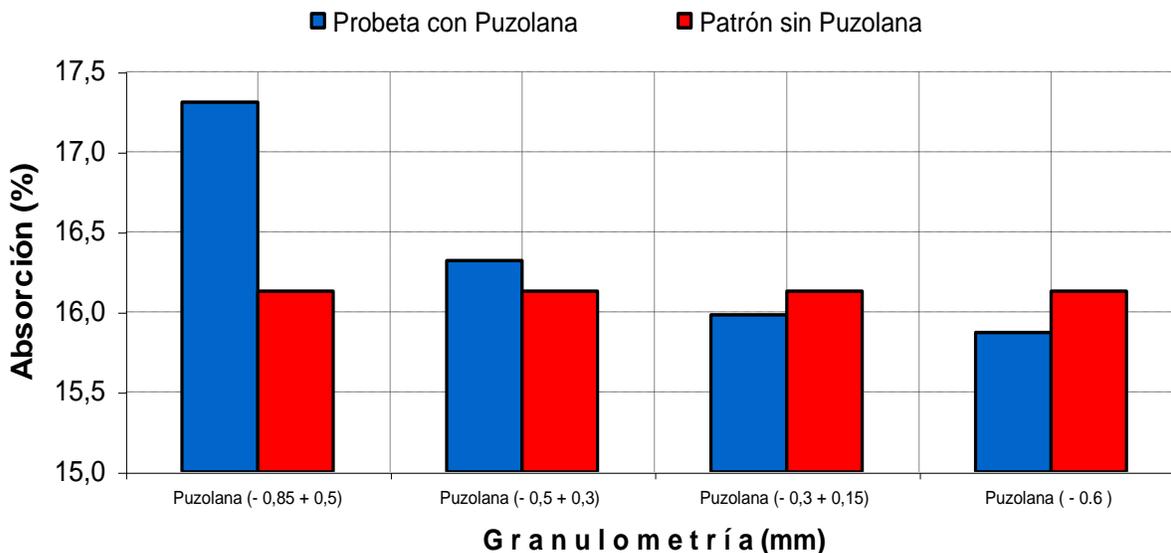
GRAFICO Nº2: “ABSORCION REFERIDA A LA GRANULOMETRIA”



De los datos experimentales, así como del GRAFICO Nº2, se desprende claramente el efecto de la granulometría de la puzolana sobre la Absorción de agua: Aumento de la Absorción con la granulometría gruesa, pero leve reducción con las granulometrías finas.

Estos hechos son apreciados más claramente en el gráfico Nº3.

GRAFICO Nº3: “ABSORCION DE PROBETAS RESPECTO A ENSAYO PATRON”



En el gráfico N°3 se hace una comparación de las probetas con un 10% de puzolana a distintas granulometrías, con la probeta patrón. Se logra apreciar que mientras más gruesa sea la puzolana, más absorbente será la placa final, además, que al analizar el corte global (que contiene distintas granulometrías) se aprecia que no hay efectos negativos en la absorción.

En general la puzolana, por ser un material que se caracteriza por poseer una alta porosidad, incorpora a la pasta mayor cantidad de espacios, por lo que da lugar a que en forma posterior puedan ser ocupados por agua, por ende, la hace más absorbente a medida que sean más grandes los espacios originados, cosa que está relacionada directamente con su granulometría..

Los valores más detallados aparecen en el capítulo de Documentos Anexos.

4.3.3 CONDUCTIVIDAD TERMICA

En la tabla N°4 se muestran los datos de Conductividad Térmica de la masa cerámica para las formulaciones caracterizadas por la granulometría de la puzolana incorporada a la masa cerámica, fabricadas con un 10% de puzolana.

TABLA N°4: “VALORES DE CONDUCTIVIDAD TERMICA SEGUN GRANULOMETRIA”

Granulometría (mm)	Conductividad Térmica λ (W/m°C)
Puzolana (- 0,85 + 0,5)	0,32082
Puzolana (- 0,5 + 0,3)	0,34344
Puzolana (- 0,3 + 0,15)	0,32268
Puzolana (- 0.6)	0,31867
Patrón (sin Puzolana)	0,43828

De los datos de la TABLA N°4 se desprende en primer lugar, que la incorporación de puzolana en la pasta cerámica lleva a una significativa reducción de la Conductividad Térmica, efecto que se puede explicar por la naturaleza porosa de la Puzolana.

En segundo lugar, y tal como se puede visualizar en el GRAFICO N°4, las mediciones de λ no colocan en evidencia un efecto significativo entre las granulometrías sobre el λ de la masa cerámica, es decir, que si bien es cierto que reduce el valor respecto del patrón, entre sí, las distintas granulometrías no producen mayor diferencia.

GRAFICO Nº4: “CONDUCTIVIDAD TERMICA RESPECTO A ENSAYO PATRON”

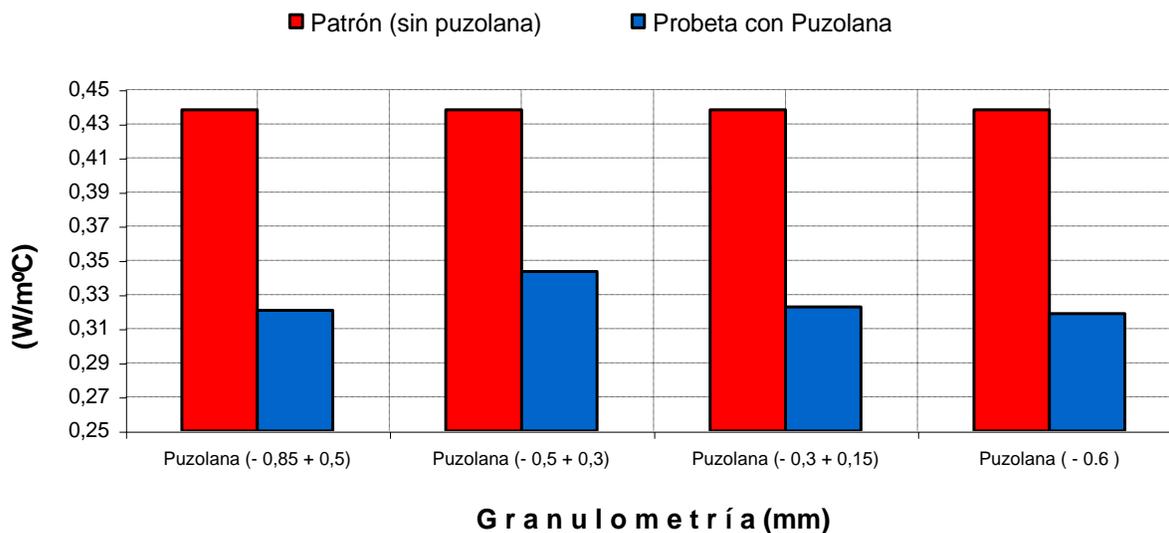


TABLA Nº5: “PORCENTAJE DE DISMINUCION DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LAS PROBETAS, REFERIDAS A LA MEDIDA PATRON.”

Granulometría (mm)	Disminución de Conductividad respecto del patrón (%)
Puzolana (- 0,85 + 0,5)	26,8
Puzolana (- 0,5 + 0,3)	21,64
Puzolana (- 0,3 + 0,15)	26,38
Puzolana (- 0,6)	27,29

En la tabla Nº5 se logra apreciar que la incorporación de puzolana a la masa cerámica disminuye casi en un 30% la Conductividad Térmica de las probetas con respecto al patrón, lo que confirma lo beneficioso de este fabuloso material volcánico.

4.3.4 RESISTENCIA MECANICA (COMPRESION).

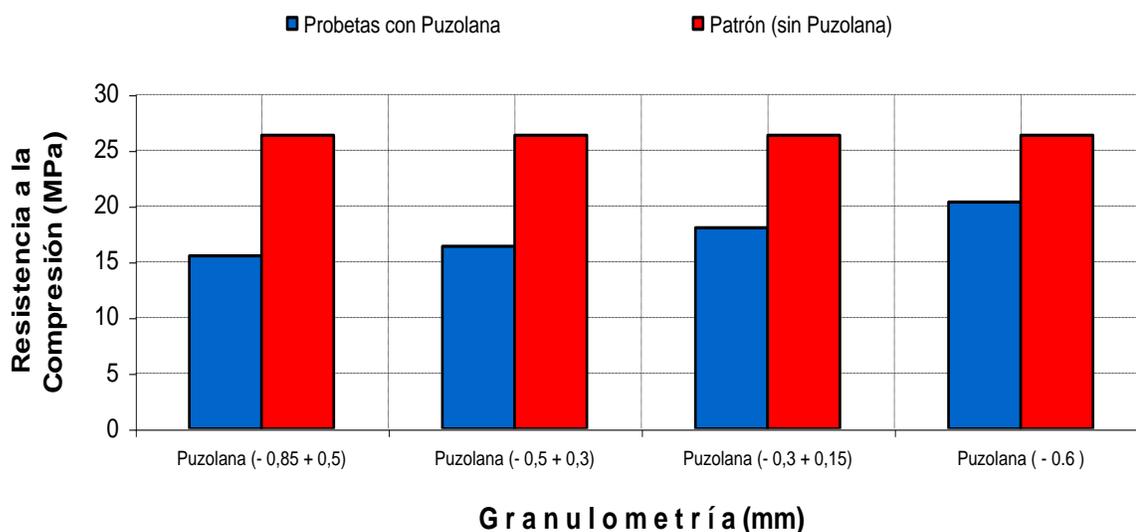
En la tabla N°6 se muestran los datos de Resistencia Mecánica (Compresión) y la clasificación a la que pertenece, según norma **NCh168 of71**, la masa cerámica para cada una de las formulaciones caracterizadas por la granulometría y el porcentaje de incorporación de la puzolana a la masa cerámica.

Es importante mencionar que las muestras fueron cortadas después de ser calcinadas.

TABLA N°6: “VALORES DE RESISTENCIA MECANICA Y CLASIFICACION SEGUN NORMA”

Granulometría (mm)	Resistencia a la Compresión (Mpa)	Clasificación según NCh168 of71 (Grado)
Puzolana (- 0,85 + 0,5)	15,54	1
Puzolana (- 0,5 + 0,3)	16,37	1
Puzolana (- 0,3 + 0,15)	18,06	1
Puzolana (- 0.6)	20,36	1
Patrón (sin Puzolana)	26,34	1

GRAFICO N°5: “RESISTENCIA A LA COMPRESION RESPECTO A ENSAYO PATRON.”



De los resultados alcanzados se desprende que la incorporación de Puzolana a la pasta cerámica lleva a una reducción de la Resistencia Mecánica de las probetas, cualesquiera que sean las granulometrías.

También los datos nos muestran que la reducción de la Resistencia Mecánica que resultan de la incorporación de Puzolana, puede ser minimizada a través de la elección de una granulometría adecuada.



OBSERVACION:

A pesar que la incorporación de puzolana a la masa cerámica reduce los valores de Resistencia a la Compresión con respecto al ensayo patrón, es preciso mencionar que hay otros factores, aparte de la granulometría, que pueden haber influido en este ensayo. Por ejemplo, las dimensiones de las probetas debieron ser modificadas o mejor dicho reducidas en tamaño, pues en una primera instancia éstas eran de aproximadamente 7 x 3 cm., valores que corresponden a las aristas que conforman el área de aplicación de la fuerza. Se debieron reducir a la mitad, es decir alrededor de 3 x 3 cm., ya que en el equipo de medición solamente se podían ensayar hasta los 4500 kg., debiéndose detener antes que las probetas fueran deformadas.

La fuerza alcanzada en un comienzo superaba los 4500 Kg. bajando considerablemente en forma posterior a valores bajo los 1000 kg., lo que indica que disminuyó su resistencia en aproximadamente un 80%. Tal vez si se miden las probetas con las dimensiones iniciales, sin tener que somerterlas a cortes posteriores, en un equipo de mayor tolerancia, se obtengan valores más elevados a los analizados anteriormente, pues el proceso de corte tras haber sido calcinadas, puede haber debilitado la estructura de las probetas, por lo que no estaría representando cien por ciento el valor de su resistencia.

De todos modos según lo que indica la norma NCh168of 71, todos los valores obtenidos en este ensayo ubicarían a este material cerámico como mínimo en Grado 2, pues ninguno tiene un valor bajo los 11 (Mpa), valor límite para ser aceptado.

Los valores más detallados aparcan en el capítulo de Documentos Anexos.



4.4 INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PUZOLANA SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA MASA CERAMICA.

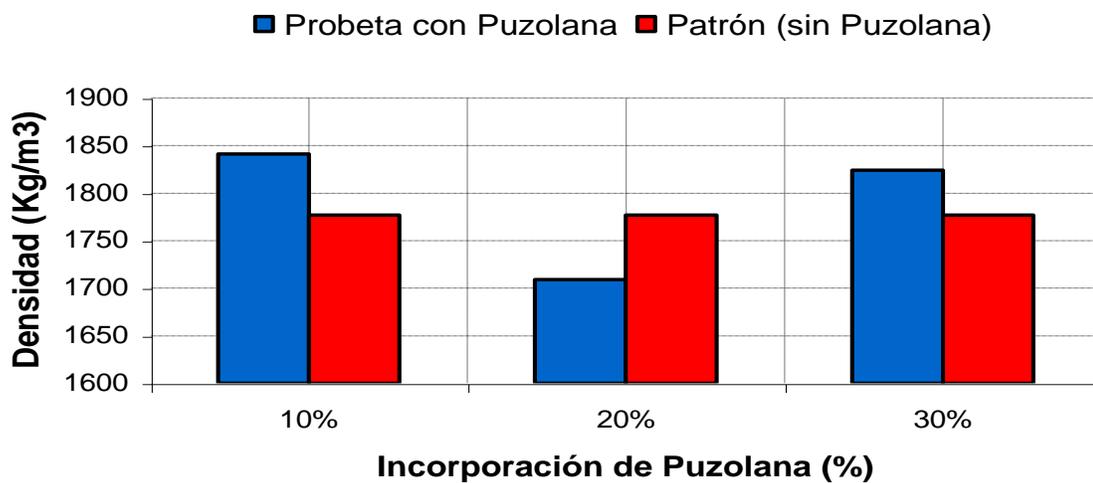
4.4.1 DENSIDAD

En la tabla N°7 se muestran los valores de la densidad de las Probetas, referidas al % de incorporación de Puzolana a la masa cerámica.

TABLA N°7: “VALORES DE DENSIDAD DE LAS PROBETAS”

% de Incorporación de Puzolana	Densidad (Kg/m³)
10	1841
20	1709
30	1824
Patrón (sin Puzolana)	1777

GRAFICO N°6: "DENSIDAD DE LAS PROBETAS."



Del Gráfico N°6 se desprende que la incorporación de puzolana a la pasta cerámica generalmente eleva sus valores de densidad con respecto al Ensayo Patrón.



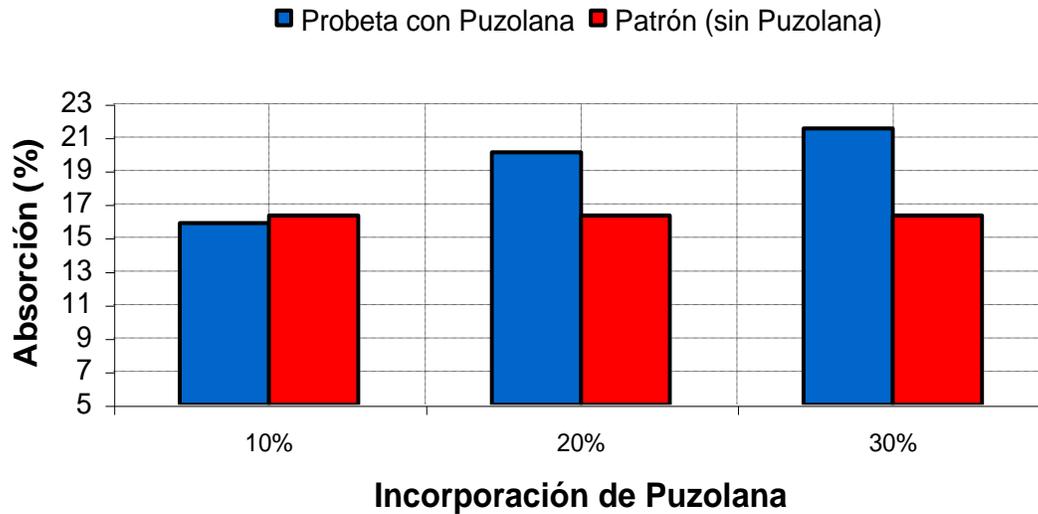
4.4.2 ABSORCION.

En la tabla N°8 se muestran los valores de Absorción de las Probetas, referidas al % de incorporación de Puzolana a la masa cerámica.

TABLA N°8: “VALORES DE ABSORCION DE LAS PROBETAS”

% de Incorporación de Puzolana	Absorción (%)
10	15,87
20	20,09
30	21,53
Patrón (sin Puzolana)	16,3

GRAFICO N°7: “ABSORCION DE AGUA DE LAS PROBETAS.”



En el gráfico N°7 se advierte que el % de incorporación de Puzolana influye en la Absorción de agua de la masa cerámica, observándose que a mayor cantidad de puzolana incorporada, mayor es el valor de la Absorción, un hecho que puede ser racionalmente interpretado sobre la base del aporte de poros a la mezcla por parte de la puzolana.

4.4.3 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

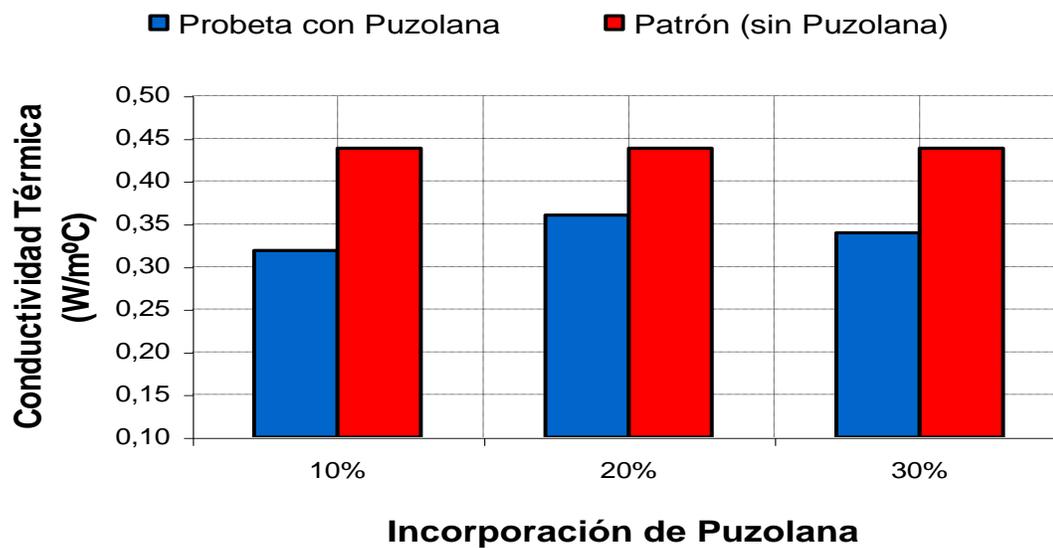
La Conductividad Térmica de las placas cerámicas preparadas con 10%, 20% y 30% de Puzolana con un 100% de granulometría inferior a 0,85 mm se muestran en la TABLA N°9.

TABLA N°9: “VALORES DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LAS PROBETAS”

% de Incorporación de Puzolana	Conductividad Térmica (W/m°C)
10	0,31867
20	0,35989
30	0,33926
Patrón (sin Puzolana)	0,43828

De los datos de la TABLA N°9, y así como lo mostraron los estudios de Conductividad Térmica de las placas cerámicas versus granulometría de la Puzolana, las mediciones realizadas con el conductímetro no colocaron en evidencia un efecto del porcentaje de Puzolana sobre la Conductividad Térmica. Esto pudiera deberse a que el conductímetro no estaba ubicado en una sala climatizada que controle rigurosamente variables claves para este tipo de mediciones, tales como la temperatura y la humedad. Este punto es soportado por los valores de λ determinado para una misma placa cerámica (90% arcilla / 10% Puzolana) en verano, obteniéndose $\lambda = 0,3704$ y al medirla en invierno dio como resultado $\lambda = 0,3360$.

GRAFICO N°8: “CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.”



En el GRAFICO N°8 se aprecia la reducción bastante considerable de la Conductividad Térmica de las placas con respecto a los valores del patrón.



4.4.4 RESISTENCIA A LA COMPRESION.

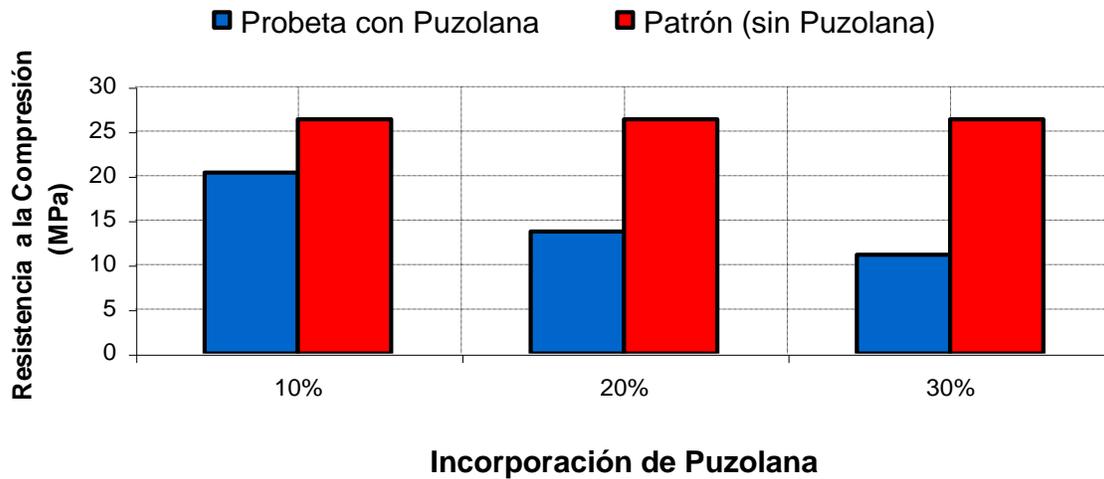
En la tabla N°10 se muestran los datos de Resistencia a la Compresión de la masa cerámica para las formulaciones caracterizadas por el porcentaje de incorporación de puzolana.

TABLA N°10: “RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS PROBETAS”

% de Incorporación de Puzolana	Resistencia a la Compresión (MPa)
10	20,36
20	13,75
30	11,10
Patrón (sin Puzolana)	26,34

Sobre la base de estos datos se puede concluir que el Porcentaje de puzolana incorporado a la masa cerámica influye en la Resistencia de las Probetas obtenida finalmente, basado en la incorporación de mayor cantidad de poros en el material.

GRÁFICO N°9: “RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN.”



En el gráfico se aprecia una disminución en la Resistencia a la Compresión de las probetas analizadas. A medida que se agrega mayor cantidad de Pozzolana a la masa cerámica su valor en Resistencia se ve disminuido. En cuanto al Patrón comparativo se aprecia una disminución en la Resistencia de las Probetas que contienen Pozzolana.



CONCLUSIONES

- La incorporación de Puzolana a la masa cerámica del ladrillo en porcentajes cercanos al 10% lleva a:
 - Una reducción significativa de la Conductividad Térmica de la masa cerámica, sin comprometer la absorción ni la resistencia mecánica del ladrillo.
- La incorporación de Puzolana a la masa cerámica en porcentaje superior al 10% mejora significativamente la Conductividad Térmica, pero compromete la Absorción y la Resistencia Mecánica de la masa cerámica.
- Las reducciones de Conductividad Térmica fuera de una sala climatizada no han permitido colocar en evidencia el efecto de la granulometría y del porcentaje de incorporación de la Puzolana a la masa cerámica sobre la Conductividad Térmica



BIBLIOGRAFIA

- (1) [J. CALLEJAS, 1969]. “Las Puzolanas”. Madrid, España. 93 Pág.
- (2) [GERARDO A. RIVERA RIFFO, 1978]. “Estudio Geológico Económico de Yacimientos de Puzolana Para la Planta de Cemento de Antofagasta”. Chile. 124 Pág.
- (3) [RAMIRO BADILLA, 1989]. “Diagnóstico de la Minería No – Metálica de Chile, Corporación de Fomento de la Producción”, Vol. 2, Santiago de Chile, Págs. (688-712).
- (4) [ANIBAL GAJARDO C., 2000]. “Subdirección Nacional de Geología, Rocas y Minerales Industriales de Chile, Boletín N°58, Santiago de Chile, Págs. (83-85)
- (5) [MAURICIO A. BOBADILLA PERAGALLO, 1990]. “Caracterización de una Puzolana y Optimización de su uso en Cemento”. Santiago, Chile . 126 Pág.
- (6) [USAI G., 1992]. “Durability of clay – pozzolan brides, Ceramurgia”, Vol. 22 N°3, Italia, Págs. (95-97).
- (7) [RODRIGO A. PORRAS SOTO, 2004]. “Desarrollo de la Masa Cerámica de Ladrillo Térmicamente Mejorado”. Concepción, Chile, 150 Pág.
- (8) [LUIS CAMPOS GONZALEZ, 2003]. “Caracterización de Propiedades Térmicas e Hídricas de Ladrillos Cerámicos Locales”. Concepción, Chile, 187 Pág.
- (9) [INN –Nch. 169, 2001], Ladrillo cerámico. Clasificación y requisitos, 8 Pág.
- (10) [INN –Nch. 850, 1983], Aislación Térmica – Método para la determinación de la Conductividad Térmica en estado estacionario por medio del Anillo de Guarda, 11 Pág.



ESTUDIO, CARACTERIZACION Y EVALUACION
DE PUZOLANAS LOCALES EN LA MASA CERAMICA DEL LADRILLO



- (11) [INN-Nch. 167, 2001], Construcción – Ladrillos Cerámicos - Ensayos, 15
Pág.

GLOSARIO

- **Apatita:** Fosfato de calcio con flúor y cloro, incoloro o coloreado por impurezas, cristalizado en el sistema hexagonal.
- **Argilización:** Proceso de formación de rocas compactas de grano fino constituida por cuarzo, feldespato y arcilla.
- **Cal:** Óxido de calcio, sustancia blanca, ligera, cáustica y alcalina que en estado natural se halla siempre combinada con alguna otra. Se le suele llamar cal viva. En contacto con el agua reacciona químicamente con desprendimiento de calor (cal apagada o muerta); mezclada con arena forma el mortero.
- **Cenozoica:** Se aplica a los terrenos o formaciones que componen la parte superior de las tres en que se divide la corteza terrestre.
- **Clástico:** Rocas constituidas por fragmentos precedentes de la erosión de rocas preexistentes.
- **Clínker:** Es el producto que está constituido principalmente por silicatos cálcicos. Se obtiene por calentamiento hasta una temperatura que no podrá ser inferior a la temperatura de fusión incipiente de una mezcla homogénea finamente molida en proporciones adecuadas formadas principalmente por óxidos de calcio (CaO) y silicio (SiO_2) y por óxidos de aluminio (Al_2O_3) y hierro (Fe_2O_3) en proporciones menores. Este material se obtiene en el proceso de fabricación de cemento Pórtland.
- **Cristobalita:** Modificación del anhídrido silícico, estable a temperatura entre 1470 y 1710 °C.
- **Diatomeas:** Orden de algas unicelulares, microscópicas.
- **Endógeno:** Que actúa en el interior de la corteza terrestre y produce fenómenos como vulcanismo y formación de rocas desde en el interior.
- **Exógeno:** Rocas formadas en la corteza terrestre, en contraposición a las formadas en el interior de la tierra o endógeno.



- **Extrusivo:** Aquella roca formada por consolidación de la lava en la superficie del terreno debido a su aparición por subida y salida en las erupciones volcánicas.
- **Feldespatos:** Aluminosilicato de potasio, sodio o calcio, que forma parte de muchas rocas. Se usa en la fabricación de cristales y cerámicas.
- **Fluvial:** Que se refiere a los ríos.
- **Fumarólico:** Proceso de emisión de gases a alta temperatura a través de la fisura y grieta de una zona relacionada con un aparato volcánico.
- **Glacial:** Tierras y mares que están en las zonas glaciales (período que comprende el final de la era terciaria, durante el cual se manifiesta un gradual enfriamiento del clima).
- **Lábil:** Compuesto que se caracteriza por ser poco estable.
- **Liparita:** Variedad de roca eruptiva de origen volcánico, cuyos principales componentes son el cuarzo y la ortoclasa.
- **Litificación:** Proceso de transformación de un sedimento en una roca sedimentaria dura y compacta.
- **Lixiviación:** Operación mediante la cual, haciendo que un líquido atraviese una sustancia pulverizada, se logra extraer de ésta todos los principios que sean solubles en dicho líquido.
- **Magma:** Masa de minerales fundidos (silicatos y minerales ferromagnésicos) y de gases disueltos (dióxido de carbono, hidrógeno flúor, ácido clorhídrico, etc..) que se encuentra en el interior de la corteza terrestre, y que asciende hacia la capa superior dando lugar a fenómenos volcánicos cuando las condiciones tectónicas son las adecuadas.
- **Mineral:** Se entiende por mineral toda sustancia inorgánica de composición química definida que se encuentra en la superficie o en las capas más o menos profunda de la corteza terrestre.
- **Montmorillonita:** Mineral de silicato de aluminio, sodio y magnesio, del grupo de las arcillas, blanquecino, untuoso y de aspecto terroso.



- **Obsidiana:** Roca volcánica de estructura totalmente vítrea (sin elementos cristalinos), de color negro lustroso, con reflejos metálicos.
- **Ópalo:** Óxido silícico hidratado, amorfo o microcristalino; incoloro, blanco o con muy diversas coloraciones.
- **Piroclástico:** Producto magmático proyectado en fragmentos bajo la acción explosiva de los gases. Estos fragmentos rocosos son de todos tamaños, incluido cenizas volcánicas lanzadas al aire por el volcán durante la erupción.
- **Pumicitas:** Depósito de cenizas volcánicas que sirven para la fabricación de morteros y cementos. También se utiliza en la preparación de estabilizadores para caminos.
- **Puzolana:** Nombre italiano de la pumicita. Viene del pueblo de Puzzuoli, cerca de Nápoles.
- **Radiolarios:** Clase de protozoos marinos, cuyos esqueletos forman un encaje de complicada simetría radial.
- **Roca:** Es toda formación de origen natural y carácter inorgánico que no puede atribuirse a una sola especie mineral, sino que constituye aglomerados o conglomerados de individuos minerales distintos.
- **Sinterización:** Proceso que consiste en soldar o conglomerar metales pulverulentos sin alcanzar la temperatura de fusión.
- **Toba:** Roca calcárea constituida por carbonato de calcio, porosa y esponjosa, formada por precipitación de las sales contenidas en fuentes y ríos a causa de la evaporación. Esta roca está constituida por partículas del tamaño de la ceniza volcánica, es poco compactada y originada por la cementación de materiales piroclásticos.
- **Trípoli:** Sedimento silíceo terroso formado por acumulación de esqueletos de radiolarios. Se utiliza para pulimentar y en la fábrica de la dinamita.
- **Vesubio:** Volcán del sur de Italia ubicado a 12 Km. al oeste de Nápoles y tiene 1277 m de altura.



ESTUDIO, CARACTERIZACION Y EVALUACION
DE PUZOLANAS LOCALES EN LA MASA CERAMICA DEL LADRILLO



- **Vítreo:** Rocas de cristales desordenados. Se habla de textura vítrea porque los iones se "congelan" desordenadamente antes de poder unirse en una estructura cristalina ordenada.
- **Zeolita (o ceolita):** Pertenece a un grupo de minerales; son silicatos aluminocálcicos o aluminocalcinos procedente de la descomposición hidrotermal de los feldespatos.



ESTUDIO, CARACTERIZACION Y EVALUACION
DE PUZOLANAS LOCALES EN LA MASA CERAMICA DEL LADRILLO



ANEXO

Observación:

Los Documentos Anexos se encuentran en la carpeta adjunta a este archivo. Aquí se entrega una tabla resumen con los valores ocupados desde la fabricación de las placas, hasta las mediciones de distintos ensayos a los que fueron sometidas. Además los se encuentran los registros de mediciones de conductividades térmicas y valores de Resistencia a la Compresión y Absorción.