

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

TESIS DE DOCTORADO EN INGENIERÍA – MENCIÓN  
MATERIALES

INFLUENCIA DE FINOS DE PERLITAS PARA LA  
FABRICACIÓN DE LADRILLOS Y BLOQUES. USO EN  
VIVIENDAS SOCIALES.

Autor: Lucas Ramiro Burgos  
Ingeniero Civil

Director: Ángel Oshiro  
Ingeniero Civil

Co-directora  
CONICET: María Inés Sastre de beca  
Esp. Ingeniera Civil

Para optar por el título de:  
Doctor en Ingeniería, mención Materiales  
Resoluciones CONEAU 1181-11 y 254-13, Carrera 4486, Categoría “A”

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

PARA MIS AMIGOS

ÁNGEL OSHIRO, MARÍA INÉS SASTRE Y HECTOR CARDOZO

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias a las buenas voluntades de muchas personas e instituciones. Es por ello que me gustaría agradecer a:

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Salta, particularmente al Instituto de Ingeniería Civil y Medio Ambiente de Salta (ICMASa) que fue mi lugar de trabajo donde se desarrolló esta tesis.

A la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba, particularmente al Centro de Investigación en Tecnología de Materiales de Construcción y Calidad (CINTEMAC) por asesorarme y permitirme utilizar sus instalaciones para realizar ensayos experimentales.

Al CONICET por otorgarme la beca para la formación de doctores.

A mi director de tesis, Ángel Oshiro, por su entrega, su generosidad, su tiempo y experiencia.

A mi codirectora de beca, María Inés Sastre, por su paciencia, su preocupación y disposición.

Al grupo de investigación en materiales de construcción (GIMCO) por colaborar con la parte experimental, en especial a Héctor Cardozo y Verónica Artigas por acompañar en cada paso.

A los técnicos del laboratorio, José Garcelan y Oscar Recalde, por ayudarme en tantas horas de trabajo.

A la Secretaría de Minería de la Provincia de Salta, a los geólogos Oscar Suarez por dar la idea inicial y a Sebastián Gómez por la logística para adquirir los materiales.

A toda la comunidad de San Antonio de los Cobres por confiar en este proyecto y abrirme las puertas de su comunidad.

A mi familia, por estar y ser mi sustento.

A mis amigos, por alentarme.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## Resumen

En San Antonio de los Cobres, ubicado al oeste de la provincia de Salta, Argentina, los residentes recurren al uso de adobes (bloques macizos de arcilla) para construir sus casas. Dicha mampostería es realizada por los propios residentes de manera manual utilizando antiguas técnicas de construcción cuyo material principal es la arcilla. En la actualidad, este material resulta escaso en la región debido a la creciente demanda.

Por otro lado, la explotación minera es la principal actividad económica en la zona, por lo que en las cercanías de la localidad hay plantas mineras que extraen el mineral perlita y durante la extracción, trituración y separación de las partículas por tamaño, generan desechos de partículas de menos de 150 micrones.

En los últimos años el cuidado del medio ambiente y la reducción de los desechos han sido tema de discusión en la mayoría de las industrias, por lo que la reutilización de dichos desechos en elementos que pueden ser útiles para la sociedad colabora con la sustentabilidad que se busca.

En respuesta a esto y considerando los problemas medioambientales se propone en esta tesis investigar sobre la elaboración de ladrillos macizos y bloques huecos con un alto contenido de residuos (70% en peso), cal hidratada y cemento Portland compuesto, elaborándolos de manera manual con una unidad de compactación CINVA-Ram.

El objetivo del presente trabajo de investigación es analizar la posibilidad de reemplazar los ladrillos de Adobe con estos nuevos mampuestos. Dichos análisis seguirán pruebas que cumplan con las Normas IRAM (organismo oficial nacional de estándares para la República Argentina), como las pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión, absorción, absorción capilar y conductividad térmica.

Se observó que el residuo de perlita cruda es un material inerte pero que, a periodos largos en conjunto con el cemento y cal hidratada, aporta resistencias mecánicas en los mampuestos.

Se fabricaron los mampuestos tanto en laboratorio como en el lugar a donde están destinados para observar si existen notables diferencias en las características de los mismos.

En conclusión, los resultados de los mampuestos realizados en laboratorio como in situ indicaron que el ladrillo macizo de perlita estudiado presenta mejores propiedades físicas y mecánicas que los ladrillos de Adobe, pero no así los bloques huecos dejando abierta la posibilidad de mejorar las características de estos últimos.

## Abstract

In San Antonio de los Cobres, located in the western of province of Salta, Argentina, residents resort to the use of adobes (solid blocks of clay) to build their houses. This masonry is made by the residents themselves manually using ancient construction techniques whose main material is clay. At present, this material is scarce in the region due to the increasing demand.

On the other hand, mining is the main economic activity in the area, so close to town there are mining plants that extract the mineral perlite and during the extraction, crushing and separation of the particles by size, they generate waste of particles less than 150 microns.

In recent years, caring for the environment and reducing waste have been topics of discussion in most industries, so the reuse of said waste in elements that can be useful to society contribute to the sustainability.

In response to this and considering environmental problems, it is proposed in this thesis to investigate the elaboration of solid bricks and hollow blocks with a high content of residues (70% by weight), hydrated lime and composite Portland cement, elaborating them manually with a CINVA-Ram compaction unit.

The objective of this research work is to analyze the possibility of replacing Adobe bricks with this new masonry. Said analyzes will follow tests that comply with IRAM standards (official national standards body for the Argentine Republic), such as compression and flexural strength, absorption, capillary absorption and thermal conductivity.

It was observed that the raw perlite residue is an inert material but that, over long periods together with the cement and hydrated lime, it provides mechanical strength in the masonry.

The masonry was manufactured both in the laboratory and in the place where they are destined to observe if there are notable differences in their characteristics.

In conclusion, the results of the masonry carried out in the laboratory and in situ indicated that the solid perlite brick studied has better physical and mechanical properties than the Adobe bricks, but not the hollow blocks, leaving open the possibility of improving their characteristics last.

## Índice Temático

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos .....	3
Resumen.....	4
Abstract.....	5
CAPITULO 1: INTRODUCCION Y OBJETIVOS .....	10
1.1 Introducción.....	11
1.2 Motivación del Trabajo.....	13
1.3 Objetivos.....	14
1.4 Programa teórico experimental y metodología .....	15
1.5 Estructura de la tesis .....	15
CAPITULO 2: CONTEXTO DEL TRABAJO .....	17
2.1 Introducción.....	18
2.1.1 Vías de acceso a San Antonio de Los Cobres .....	19
2.2 Descripción de viviendas en San Antonio de Los Cobres .....	19
2.3 Economía de San Antonio de Los Cobres .....	22
2.3.1 Cantidad de comercios en San Antonio de Los Cobres .....	23
2.3.2 Costumbres –Turismo .....	24
2.4 Habitantes .....	25
2.5 Adobe de San Antonio de los Cobres .....	25
2.5.1 Características de los adobes.....	26
2.5.2 Resistencia a compresión de los adobes.....	26
2.6 Laboratorio de Ingeniería Civil.....	27
CAPITULO 3: LA PERLITA .....	29
3.1 Introducción.....	30
3.2 Descripción geográfica de la Puna.....	31
3.2.1 Marco geológico.....	31
3.2.2 Formación de la perlita.....	33
3.2.3 Perlita de San Antonio de Los Cobres.....	35
3.2.4 Obtención y extracción de perlita cruda.....	37
3.3 Volúmenes de residuos anuales .....	39
3.4 Costo de perlita cruda .....	41
3.5 Usos de la perlita.....	42
3.6 Propiedades físicas y químicas .....	43
3.6.1 Propiedades físicas .....	43

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

3.6.2 Composición Química.....	44
3.7 Ensayos para caracterizar la perlita cruda.....	48
3.7.1 Descripción de las canteras Pava y Guanaco .....	48
3.7.2 Determinación de peso específico.....	49
3.7.3 Espectroscopia por fluorescencia de rayos X.....	50
3.7.4 Microscopia electrónica de barrido (SEM) .....	50
3.7.5 Distribución Granulométrica.....	50
3.7.6 Determinación de Sulfato. Solubilidad en agua y ácido clorhídrico concentrado.....	51
Capítulo 4: Programa experimental .....	52
4.1 Introducción .....	53
4.2 Materiales.....	53
4.2.1 Cemento .....	53
4.2.2 Cal hidratada .....	56
4.2.3 Agua .....	59
4.2.4 Perlita .....	59
4.3.1 Variables .....	59
4.3.2 Dosificaciones .....	59
4.3.3 Procedimiento de mezclado.....	61
4.3.4 Fabricación de los mampuestos.....	62
4.4 Metodología / Ensayos.....	67
4.4.1 Geometría.....	67
4.4.2 Alabeo .....	69
4.4.3 Resistencia a la compresión .....	70
4.4.4 Resistencia a la flexión.....	72
4.4.4.1 Comparación de la resistencia del ladrillo en estado seco y húmedo en ladrillos.....	73
4.4.5 Absorción .....	74
4.4.5.1 Variación de absorción.....	76
4.4.6 Succión capilar .....	78
4.4.7 Conductividad térmica .....	80
4.4.8 Pilas de ladrillos macizos .....	81
4.4.9 Muretes.....	83
Capítulo 5: Resultados y discusión .....	88
5.1 Caracterización de la perlita.....	89
5.2 Comportamiento en estado fresco.....	94
5.2.1 Consistencia normal .....	95
5.2.2 Inicio y fin de fragüe .....	95

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

5.2.3 Consistencia .....	96
5.3 Comportamiento en estado endurecido.....	97
5.3.1 Peso y densidad aparente.....	97
5.3.2 Resistencia mecánica.....	97
5.3.4 Durabilidad.....	101
5.3.6 Pilas de mampostería maciza .....	104
5.3.7 Muretes.....	105
5.4 Costos.....	105
6.1 Consideraciones generales .....	108
6.2 Conclusiones sobre la caracterización físico química de la perlita.....	108
6.3 Conclusiones sobre las mezclas en estado fresco .....	108
6.4 Conclusiones sobre los hormigones en estado endurecido .....	109
6.4.1 Resistencia mecánica.....	109
6.5 Conductividad Térmica.....	110
6.6 Adherencia en morteros .....	110
6.7 Análisis de costos.....	110
6.9 Líneas de investigación futuras.....	111
7.2 Objetivo.....	114
7.3 Trabajo experimental .....	114
7.4 Materiales.....	114
7.5 Elaboración de mampuestos.....	115
7.6 Resultados .....	117
7.7 Conclusiones .....	117
ANEXO I: PRODUCCIÓN CIENTÍFICA .....	119
8.1 Trabajos presentados en congresos con referato .....	120
8.2 Trabajos presentados en congresos no publicados.....	121
8.3 Artículos en revistas indexadas.....	122
8.4 Participación en proyectos I+D.....	122
ANEXO II: ELABORACION BLOQUES EN PARQUE INDUSTRIAL.....	124
9.1 Introducción .....	125
9.2 Materiales y mezclado .....	125
9.3 Resultados .....	127
9.4 Conclusiones.....	128
10.1 Introducción .....	130
10.2 Elaboración .....	130
10.2 Resistencias mecánicas .....	131



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

10.2.1 Resistencia a la compresión .....	131
10.2.2 Resistencia a la flexión.....	133
10.3 Parámetros de durabilidad.....	134
10.3.1 Absorción .....	134
10.5 Conclusiones .....	137
ANEXO IV: TABLAS DE VALORES .....	138
Bibliografía .....	147

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## CAPITULO 1:

### INTRODUCCION Y OBJETIVOS

En el apartado 1.1 de este capítulo se presenta una introducción del trabajo de investigación que se desarrolla en esta tesis y la problemática planteada que dio lugar a la investigación.

En el apartado 1.2 se plantea la motivación del trabajo. En el apartado 1.3 se describen los objetivos generales y particulares de la investigación y el alcance de la misma. El programa teórico experimental y la metodología se presentan en el apartado 1.4 y finalmente en el apartado 1.5 se presenta la estructura de esta tesis.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 1.1 Introducción

El desarrollo sostenible de la economía mundial fuertemente industrializada ha llevado a un incremento sensible en la utilización de residuos provenientes de materiales de producción. El desarrollo de políticas para salvaguardar el medio ambiente, ha fomentado la aparición de nuevas zonas de mercado dedicadas al suministro de servicios "ecológicos y de reciclado" como la recolección y el tratamiento de los residuos de los procesos de producción.

El problema del tratamiento de estos residuos constituye un tema delicado, tanto que desde hace tiempo el mundo industrial se ha venido sensibilizando en este tipo de temática. Argentina, país en vía de desarrollo no puede ser ajeno a este tipo de problemas.

Expuesto lo anterior, la tesis trata sobre la utilización de los residuos de perlita natural sin procesar, aprovechando que dicho material no es comercializado y es guardado en canteras donde corre el riesgo de ser esparcido por los fuertes vientos tanto a la población existente de San Antonio de los Cobres como a otros lugares.

También se busca lograr disminuir el uso de arcilla, la cual es escasa y de uso cotidiano para la construcción de ladrillos de adobe los cuales incorporan grandes volúmenes de arcilla en su interior.

La planta minera proveedora de la perlita informó que las canteras de donde se extraen los materiales en estudio, poseen una capacidad de 100 años para continuar siendo explotadas. Esto colabora con la factibilidad del proyecto.

De acuerdo a la empresa que provee el material, el residuo total es aproximadamente el 20 por ciento de producción de perlita. Dichas cantidades favorecen notablemente la fabricación de ladrillos ya que en el año 2016 se extrajeron 17.905 toneladas de perlita. [Fuente: Partes de Producción - Dirección General de Recursos Energéticos y Mineros. Elaboración: Subprograma Canon y Estadísticas - Secretaría de Minería julio 2017]

Dicho estudio de investigación evaluará el mampuesto de perlita cruda, con una menor cantidad de cemento y cal hidratada, el cual va a funcionar como unidad de mampostería y permitirá establecer si el material es apto para ser utilizado en la construcción de viviendas y las ventajas económicas y de medio ambiente que favorecerán a la población como así también una gran disminución del uso de arcilla en la zona la cual se ve reducida con el paso del tiempo.

Mediante estudios teórico-experimentales, se trabajó en el Laboratorio de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Salta, donde se ubicó la CINVA-Ram y se fabricaron los ladrillos macizos y los bloques huecos de perlita cruda, los cuales fueron ensayados, tanto en la Universidad Nacional de Salta como en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba, y comparados con los ladrillos de adobe de la zona de San Antonio de los Cobres.

Un aspecto importante con respecto al ahorro de energía en la fabricación de este nuevo material es que estos ladrillos se fabrican mezclando en estado seco todos los materiales

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

hasta homogeneizarlos, luego agregando el agua y compactándolos a través de la máquina compactadora CINVA-Ram, todas estas actividades de manera manual.

En la fabricación de esta unidad se utilizaron dos materiales de dos géneros industriales: cemento y cal hidratada. Dichos materiales se eligieron por su facilidad de adquirirlos en el mercado local y son comúnmente usados por los habitantes de la localidad de Los Andes.

Además de verificar estos mampuestos con la Normas IRAM también se ha tomado en cuenta el Reglamento CIRSOC, particularmente el CIRSOC 501.

En resumen, para llegar al objetivo de obtener un ladrillo para mampostería, se debió caracterizar las materias primas utilizadas para su fabricación e implementar un diseño experimental adecuado. Luego evaluar los mampuestos en estado fresco y endurecido, y determinar si cumplen con las normas vigentes, para finalmente aplicarlos en el lugar al cual están destinados.

El trabajo se centra en la comparación con ladrillos de adobe ya que los mismos son característicos de la zona de San Antonio de los Cobres.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 1.2 Motivación del Trabajo

El adobe es un mampuesto crudo de arcilla y que por su manera económica y sencilla de fabricarlos es el mampuesto más utilizado en la región de la Puna. Sus dimensiones cubren una superficie mayor con bajo números de piezas, cumpliendo con los requerimientos para la edificación de viviendas sociales (Bestraten, Hormias, Altemir, 2011).

Lamentablemente la disminución de arcilla en la zona de San Antonio de los Cobres, materia prima esencial para su elaboración ha limitado la fabricación del mismo, por lo que, la finalidad de este proyecto de investigación es encontrar un elemento que pueda sustituir al mampuesto de adobe, igualando o superando características no solo mecánicas sino sociales, económicas y de medio ambiente.

Las motivaciones no solo se centran en el remplazo del adobe para el uso de la construcción de mamposterías de la zona sino también el uso del residuo de perlita. Por lo que el empleo de esta adición mineral que actualmente presenta un problema como residuo mineral, sería subsanado de esta manera ya que se encontraría un uso sustentable proyectando a renovar e innovar la ejecución de materiales para la construcción de viviendas sociales en la región, colaborando con la falta de arcilla que existe en la zona.

Se debió tener en cuenta aspectos importantes, los cuales son la lejanía de la zona San Antonio de los Cobres, el uso de cemento y cal, los cuales tienen un valor económico mayor al de la ciudad, y la posibilidad de usar la perlita cruda como componente principal de estos nuevos tipos de ladrillos, disminuyendo el residuo extraído de plantas de perlitas y dar la posibilidad a los residentes de dicha población de una nueva alternativa de materiales para la construcción.

Esta nueva pieza constructiva utiliza niveles de compactación mínimos a través de la CINVA-Ram que utiliza un simple mecanismo mecánico y se puede fabricar con facilidad.

Otro aporte de este proyecto es demostrar que la reutilización de este desecho combinado con el cemento y cal hidratada, proporciona resistencia en periodos largos de tiempo, lo cual proporcionará beneficios a las características del material.

El Plan de proyecto final previsto pretende facilitar el desarrollo, aplicación y ampliación de conocimientos sobre mampuestos con incorporación de finos de perlitas naturales, obteniendo como productos ladrillos y bloques, sustentables y sociales.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

### 1.3 Objetivos

#### Objetivo Principal (General)

El objetivo general es desarrollar ladrillos y bloques utilizando alto volumen de adiciones residuales provenientes de las perlitas naturales, que contribuyan a la sustentabilidad del medio ambiente y que puedan ser transferidos para su aplicación, desarrollando con el avance en estos conocimientos, criterios para su dosificación y propuestas de previsión de su vida útil.

#### Objetivos Complementarios (Específicos)

- Estudiar el estado del arte de la bibliografía sobre incorporación de adiciones activas y no activas en elementos cementicios.
- Seleccionar y caracterizar física y químicamente los materiales locales a utilizar.
- Caracterizar el comportamiento de la adición en las mezclas cementicias.
- Estudiar los modelos de comportamiento en estado fresco, propiedades físico-mecánicas y durabilidad de las mezclas elaboradas.
- Comparación de estos nuevos compuestos con los ya existentes.
- Intercambiar experiencias con los Centros de Investigación y Universidades vinculadas y divulgar los resultados en congresos y revistas científicas nacionales e internacionales.
- Transferir el conocimiento a las comunidades que viven en la zona de San Antonio de los Cobres, ya que ellos son los destinatarios de este proyecto.

El análisis de la información y de los resultados experimentales permitirán conocer mejor las propiedades en estado fresco y endurecido, y la durabilidad de los elementos cementicios con adiciones. Esto brindará la oportunidad de realizar propuestas para desarrollar criterios de dosificación, de previsión de la vida útil y monitoreo de estos productos sustentables.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 1.4 Programa teórico experimental y metodología

El estudio teórico-experimental propone avanzar en el diseño y conocimiento de las propiedades en estado fresco y endurecido y en la durabilidad de ladrillos macizos y bloques huecos con alto volumen de adición de perlita fina.

## 1.5 Estructura de la tesis

La tesis se estructura en siete capítulos. En primer lugar, se presenta una introducción a la problemática que le dio origen a esta tesis, el estado del arte, la importancia de la utilización de los desechos de la industria minera, el avance en el conocimiento en la incorporación de distintas adiciones en la tecnología de los materiales y el estudio y caracterización de la perlita natural utilizada como adición mineral. Luego se presenta el programa experimental desarrollado considerando distintas dosificaciones de cemento Portland compuesto, cal hidratada y perlita cruda natural, los resultados alcanzados, el análisis y discusión de resultados, las conclusiones y finalmente las futuras líneas de investigación propuestas, así como la transferencia al medio de los conocimientos adquiridos.

Capítulo 1: Introducción y objetivos: Se presenta la introducción del trabajo de investigación, la problemática que dio lugar a la investigación y el enfoque abordado; la solución propuesta a la problemática y los objetivos generales y particulares de la investigación y el alcance de la misma.

Capítulo 2: Lugar de trabajo: En este capítulo se mencionan las características principales de San Antonio de los Cobres, lugar destinado para la ejecución de viviendas sociales con mampuestos de perlita cruda. Descripción de las viviendas actuales y el uso de adobes. También sobre la importancia de esta adición mineral para la comunidad. Además, una breve descripción del lugar de trabajo en el laboratorio en la Universidad.

Capítulo 3: Perlita: Aborda el estudio de la perlita como material puzolánico en mezclas cementicias. Comienza con la definición de perlita. Se analizan las propiedades físico químicas de la perlita y se presentan los antecedentes a nivel mundial de experiencias realizadas con el empleo de perlitas naturales en mezclas cementicias.

Capítulo 4: Programa experimental: Se describen los materiales elegidos para la dosificación y fabricación del mampuesto. Se presentan las dosificaciones y los procedimientos experimentales empleados en la ejecución de los diferentes ensayos.

Capítulo 5: Resultados y discusión: El capítulo reúne los resultados obtenidos en el trabajo experimental. Se presentan los resultados de la caracterización físico química de la perlita, los resultados correspondientes a los mampuestos en estado fresco, los resultados de los ensayos empleados en la determinación de las propiedades mecánicas del mampuesto: resistencia a compresión y resistencia a la flexión, y los resultados de los ensayos que se consideran indicadores de parámetros de durabilidad, tales como absorción y succión capilar. Discusión de resultados: Se analizan los resultados obtenidos y se discuten los

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

mismos en función del tipo de cemento empleado y la influencia de los porcentajes de perlita utilizada.

Capítulo 6: Se presentan las principales conclusiones alcanzadas y las futuras líneas de investigación.

Capítulo 7: Se presenta todo lo referido a la transferencia del conocimiento a las comunidades que habitan en la localidad de San Antonio de los Cobres. Además de un breve análisis de costos de los materiales.

Anexo I: Producción científica

Anexo II: Elaboración de bloques en parque industrial

Anexo III: Comparación entre ladrillo de adobe y ladrillo de perlita

Anexo IV: Tablas de valores

Bibliografía



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## CAPITULO 2:

### CONTEXTO DEL TRABAJO

En este capítulo se mencionan las características principales de San Antonio de los Cobres, lugar destinado para la ejecución de viviendas sociales con mampuestos de perlita cruda. Descripción de las viviendas actuales y el uso de adobes. También sobre la importancia de esta adición mineral para la comunidad.

Además, en el apartado 2.6 una breve descripción del lugar de trabajo en el laboratorio en la Universidad.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 2.1 Introducción

San Antonio de Los Cobres se ubica a 164 km al noroeste de la ciudad de Salta, y a una altitud de 3775 msnm, siendo el centro urbano más elevado del país tras El Aguilar, en la provincia de Jujuy, y en la confluencia del torrencial y altamente erosivo río Toro — que desciende desde la Puna— con el río San Antonio de los Cobres, en la parte más baja de la quebrada del Toro que sirve de ancestral acceso a la Puna de Atacama por la ruta nacional 51 y por el famoso Tren de las Nubes.

Su clima es seco y frío con vientos fuertes y constantes, condiciones climáticas muy duras, especialmente en los meses invernales de junio, julio y agosto. Posee durante todo el año un clima ventoso y muy frío, sus temperaturas extremas que oscilan entre los 20 °C durante el día y -25 °C en las frías noches de invierno, como consecuencia directa de la considerable altitud de su ubicación geográfica de 3775 msnm. La ciudad es muy antigua, fundada el 10 de enero de 1990, recibiendo su nombre de los abundantes yacimientos cupríferos existentes en sus inmediaciones. San Antonio de los Cobres fue un antiguo departamento de Argentina que formó parte del Territorio Nacional de Los Andes, existente entre 1900 y 1943. Tenía cabecera en la localidad de San Antonio de los Cobres. Este departamento tenía una extensión aproximada de 550 km<sup>2</sup>, siendo el más pequeño y oriental de la gobernación. Desde 1943 forma parte del departamento de Los Andes de la provincia de Salta (Wikipedia).

Entre sus atractivos turísticos se encuentra, a menos de 5 kilómetros al oeste de la ciudad, el viaducto La Polvorilla del Tren de las Nubes, correspondiente al Ferrocarril General Belgrano. Este viaducto se caracteriza por ser una especie de prolongado puente de gran altura, único en el mundo por su tramo de curva ascendente con rieles peraltados. Todo el Tren de las Nubes fue construido por el estado nacional argentino siguiendo el Plan de Fomento que debía unir a todas las capitales provinciales y territoriales argentinas. También en los alrededores se encuentran las ruinas de la antiquísima ciudad precolombina de Tastil.



Figura 2.1 Viaducto La Polvorilla junto al Tren de las Nubes

San Antonio de los Cobres fue la capital del pequeño (unos 5000 km<sup>2</sup>) departamento salteño homónimo hasta 1901, en ese año pasó a ser la capital del departamento capital

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

de la recientemente fundada Gobernación de los Andes y la capital de tal gobernación substituyendo en esta función al fortín y caserío de Navarro.

En 1943 al ser disuelta la Gobernación o Territorio Nacional de Los Andes la ciudad y el departamento fueron reintegrados a la provincia de Salta junto con el antiguo departamento de la susodicha gobernación llamado Santa Rosa de los Pastos Grandes, ambos departamentos fueron fundidos en un solo departamento que recibe el nombre de Los Andes, del cual la población de San Antonio de los Cobres (a veces llamada simplemente Los Cobres) es la cabecera.

Su ubicación es muy estratégica: desde tiempos inmemoriales por la quebrada del Toro (un camino natural obligado entre el océano Pacífico y la gran llanura Chaco pampeana) ha sido el corredor de poblaciones humanas, corrientes culturales, mercancías y ganados de este a oeste y viceversa en esta región de América. A la llegada de los españoles en el siglo XVI la zona era el difuso límite entre las poblaciones urbanas de incas —al oeste— y de quechuas —al este—. Durante la Guerra de la Independencia y luego durante la guerra que la Confederación Argentina hubo de sostener contra la invasión de la Confederación Perú-boliviana, la quebrada del Toro (y especialmente San Antonio de los Cobres) fue lugar de paso de las tropas contendientes.

La población de San Antonio de los Cobres y sus alrededores (15 km a la redonda) fue de 6050 personas de acuerdo al INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

La crónica emigración por falta de desarrollo económico local y la consecuente falta de posibilidades económicas de la población ha hecho que durante todo el siglo XX la población se haya mantenido estancada, pese al enorme potencial económico de la región (turismo, minería, agricultura de quínoa y papa, ganadería de auquénidos, ovinos y caprinos).

### 2.1.1 Vías de acceso a San Antonio de Los Cobres

Se accede al Municipio de San Antonio de Los Cobres a través de la Ruta Nacional N° 51 que proveniente de Salta Capital, pasa por San Antonio de Los Cobres, y se dirige a Chile, por el Paso Internacional de Sico. La Ruta Nacional N° 40 permite el acceso desde la Provincia de Tucumán, siguiendo la misma se puede llegar a la Provincia de Jujuy. La Ruta Nacional N° 51 se empalma con la Ruta Provincial N° 27, pasando por la Localidad de Tolar Grande, se puede acceder a Chile a través del Paso Internacional de Socompa.

## 2.2 Descripción de viviendas en San Antonio de Los Cobres

Como en toda América, el barro y la piedra fueron los materiales autóctonos más utilizados para la construcción de viviendas en San Antonio de los Cobres. Materiales disponibles en el sitio, que dieron la respuesta tecnológica a las exigencias del medio: alta heliofanía, amplitud térmica, fuertes y constantes vientos y actividad sísmica. Este tipo de vivienda es construida por gente de bajos recursos con el sistema de autoconstrucción. En general la realiza el propietario que la habita, con recursos propios. (Sosa, Mellace, Arias, 2002).

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

El resultado de esto, fueron sistemas constructivos económicos de muros anchos, de baja altura y techos casi planos, cuya simplicidad y pureza volumétrica provienen de la sencillez y capacidad del saber constructivo de la arquitectura popular, tradicional del Noroeste argentino. Los muros de mampostería de adobe y junta de barro (muros portantes), son utilizado sobre cimientos de piedras como en la Figura 2.2 y de gruesos espesores entre (0,60 y 1,00 m). Cumplen la función de cerramiento y de soporte del techo y solo son perforados por aberturas de reducidas dimensiones con dinteles de maderas, o de cardón (Arias, Molina Trivino, Alderete, Galindez, Mellace, 2002). La cubierta puede ser de torta de barro con paja, muy utilizada, como puede verse en la Figura 2.3. También se encuentran viviendas construidas con adobe y otros materiales como chapas en reemplazo de la torta de barro, y la sustitución del mortero de barro de unión entre mampuestos por mortero de arena, cal y cemento.



Figura 2.2 Iglesia de San Antonio de los Cobres con bases de piedras y adobes pintados



Figura 2.3 Distintas cubiertas en viviendas de adobe

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Actualmente en gran mayoría se construyen, en forma espontánea y sin ningún tipo de planificación viviendas familiares con materiales heterogéneos, donde se combinan los materiales anteriormente nombrados con materiales más comunes como ladrillos cerámicos, losas de hormigón, etc. Algunas se construyen con estructuras de hormigón armado.

Unos indicadores necesarios de analizar para determinar las condiciones de vida de los habitantes en el área de estudio son el hacinamiento del hogar, el material predominante de los pisos de las viviendas analizadas y la calidad de materiales en el servicio sanitario de las mismas.

El INDEC establece las siguientes categorías de acuerdo a la calidad de los materiales de la vivienda (CALMAT):

- CALMAT I: la vivienda presenta materiales resistentes y sólidos en todos los paramentos (pisos, paredes o techos) e incorpora todos los elementos de aislación y terminación.
- CALMAT II: la vivienda presenta materiales resistentes y sólidos en todos los paramentos, pero le faltan elementos de aislación o terminación al menos en uno de sus componentes (pisos, paredes, techos).
- CALMAT III: la vivienda presenta materiales resistentes y sólidos en todos los paramentos, pero le faltan elementos de aislación o terminación en todos sus componentes, o bien presenta techos de chapa de metal o fibrocemento u otros sin ciellorraso, o paredes de chapa de metal o fibrocemento.
- CALMAT IV: la vivienda presenta materiales no resistentes, ni sólidos o de desecho al menos en uno de los paramentos.

En la siguiente tabla se detalla la cantidad de hogares del Departamento Los Andes y del área de estudio en particular de acuerdo a la calidad de los materiales de las viviendas que poseen.

Tabla 2.1 Calidad de las viviendas Fuente Indec 2010

Localidad	Hogares	Calidad de los materiales de las viviendas			
		CALMAT I	CALMAT II	CALMAT III	CALMAT VI
Dpto. de Los Andes	1.237	99	151	244	743
Municipio San Antonio de los Cobres	1.202	88	141	242	731

Particularmente, se observa que el tipo de vivienda que predomina es de adobe, techos de chapa, con pisos de tierra, y puertas y ventanas muy pequeñas. Estas ventanas pueden medir unos 30 x 20 centímetros, las hay más pequeñas e incluso se puede observar habitaciones totalmente cerradas, solo con la puerta. Esto es debido a las bajas temperaturas y los fuertes vientos.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Las casas constan por lo general de 2 o 3 habitaciones, una como cocina-comedor y la otra como dormitorio. Es común el hacinamiento en la misma familia e incluso hay casas donde conviven varias familias, 2 o más. Los baños de letrinas están ubicados afuera de las mismas. La dependencia destinada a cocina-comedor cuenta con cocina a leña que se usa como cocina y estufa al mismo tiempo y es allí donde la familia se reúne en los días fríos. Son pocas las casas que cuentan con salamandras y en ambos casos usan chimeneas para el tiraje del humo. Se usan garrafas para cocinar o en su defecto se recurre a la cocina a leña o a fuego directo. Por lo general el material de biocombustible suele ser la tola, un arbusto típico de Los Andes.

Actualmente son muchos los domicilios urbanos que cuentan con gas natural en la localidad de San Antonio de los Cobres. En las zonas urbanas de la localidad de San Antonio de los Cobres, existe una red de agua potable y grifos comunitarios. Los agentes sanitarios son los encargados de determinar, a través de colorimetría, el nivel de cloración del agua potable.

En el pueblo cuentan con recolección domiciliar de residuos con una frecuencia de 3 veces a la semana. El 91% de las familias dispone sus residuos en el basural a cielo abierto que posee la municipalidad de San Antonio de los Cobres en las inmediaciones del acceso principal esta localidad.

El 92% de las familias cuentan con disposición sanitaria de excretas. Y en cuanto al agua potable, el 91% de las familias se ven beneficiadas por este elemento vital.

En la zona rural se pueden llegar a ver casas de piedra, techo de paja y barro con piso de tierra y sin mobiliarios. La municipalidad les suministra agua potable en barriles cada 15 días.

### 2.3 Economía de San Antonio de Los Cobres

La Población Económicamente Activa (PEA) es de 1727 trabajadores y las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) alcanzan el 42,5%. Se registra un 28% de desempleo. Los Empleados Públicos registrados son 600, ocupando el primer puesto en las categorías de trabajadores con un 32,28%. El segundo puesto está representado por trabajadores por cuenta propia y empleados del sector privado. Los beneficiarios de planes sociales son 1200 personas. (Informe del Censo Nacional de Población y Vivienda 2010).

La actividad minera genera varios puestos de trabajo, aunque a diferencia de la explotación de la perlita, la mayoría se desarrolla a distancias considerables desde San Antonio de los Cobres. De acuerdo con la Información de Inspecciones de campo que realiza la Secretaría de Minería de la Provincia de Salta, la minería genera 2735 puestos de trabajo directos a lo largo de todo el territorio del departamento de Los Andes.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Tabla 2.2 Subprograma Canon y Estadísticas Fuente de Información Inspecciones de campo.  
SECRETARÍA DE MINERÍA Julio/2017

ETAPAS DE TRABAJO	OBSERVACIONES	EMPLEOS DIRECTOS
Área de Producción	Producción de minerales no metalíferos	568
Área de prospección-exploración	Empresas nacionales y extranjeras	224
Área Minera Industrial	Transformación de productos minerales	669
Producción calera	Actividad industrial artesanal convencional	301
Producción de áridos en general	Extracción en lechos fluviales y canteras secas	623
Producción de ónix	Materiales ornamentales y uso artesanal	18
Producción de perlita	Materiales de aprovechamiento industrial	36
Producción de ladrillos	Cortadas y calcinación de arcillas de ladrillos	296
Total		2.735

Según el Subprograma Canon y Estadísticas de la Secretaría de Minería de Salta, la producción de perlita genera 36 puestos de trabajo directos en el año 2017. Cabe destacar que estos puestos se encuentran en cercanías de la localidad de San Antonio de los Cobres.



Figura 2.4 Planta de perlita a metros del centro urbano

Por supuesto que esta no es la única actividad económica que se realiza en la localidad. Existen diversos rubros que se extenderán a continuación.

### 2.3.1 Cantidad de comercios en San Antonio de Los Cobres

Para el estudio de este indicador se toma como fuente de información el padrón comercial de la localidad estudiada. A partir de allí se agrupan los comercios de acuerdo a su inscripción comercial.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Del estudio realizado sobre el padrón de contribuyentes del año 2008, se identificaron 110 comercios dentro de la oferta. En esta actualización se logró recopilar información hasta agosto del año 2011, inclusive se identificaron 253 comercios, en 261 rubros comerciales.

Del total de rubros inscriptos dentro del padrón comercial existente en la localidad de San Antonio de Los Cobres se han distinguido las siguientes categorías, esparcimiento y comercios sin descripción de clase o no clasificados:

Tabla 2.2 Rubros comerciales. Fuente Municipio de San Antonio de los Cobres

Rubro	Cantidad
Comercio complementario	90
Alimentación	82
Alojamiento	55
Transporte-viajes-Turismo	11
Industria, agro, minería	9
Construcción	6
Comunicaciones	4
Servicios públicos	2
Esparcimiento	1
No clasificado	1

El 31 % de los comercios de la localidad de San Antonio de Los Cobres están relacionados con la alimentación, el 35 % son comercios complementarios, el 21 % están dentro del servicio de transporte, viajes y turismo; el 4 % pertenece al rubro alojamiento, en cambio las industrias y mineras, representan el 4 % de la oferta comercial.

Las viviendas de San Antonio de los Cobres, ejecutadas con adobe dan una visión clara de la economía de dicha población, la cual en muchas de sus calles todavía no las tiene pavimentadas, o si así fueren las mismas no se encuentran en óptimas condiciones transitables. Como el presente estudio es factible usando la perlita como material predominante para la fabricación de ladrillos, esto puede llevar a continuar investigando a la perlita en la utilización de otros rubros constructivos como, pavimentos, revoques, mosaicos, cielorrasos, ya que en el ladrillo tiene gran capacidad resistente a la compresión, y aceptable coeficiente térmico.

### 2.3.2 Costumbres –Turismo

Desde 1995, cada 1° de agosto esta pequeña ciudad es sede de la Fiesta Nacional de la Pachamama (Tierra Madre). La celebración comienza con una procesión; se cava un pozo en la tierra, pozo que simboliza la "boca" de la tierra y se efectúa el rito del chayuaco (multiplicación) arrojando al mencionado pozo la parte principal de un banquete



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

colectivo, esto es: bocados de kikincha (un guiso en base a corderito y/o llama), loco, humita y paparunas (pequeñas papas).

## 2.4 Habitantes

Para conocer la mano de obra de San Antonio de los Cobres se realizó el siguiente estudio:

Características de la población entrevistada:

Los entrevistados en la zona de influencia indirecta, se dividen en 6 del sexo femenino y 16 del masculino, en mayor número corresponde a varones por cuanto las fuentes laborales en el Departamento de Los Andes se encuentran concentradas en la cabecera departamental, con un 90% de la población total residiendo en la misma, hay una importante red de comercios que abarca a varios rubros, desde kioscos hasta empresas de construcciones, agro, mineras y de servicios. Se encuentra el Hospital Zonal, Comisaria, y una importante oferta educativa.

Edad:

La edad de los entrevistados varía desde los 24 años hasta los 55 años, en donde el 36% corresponde el rango etario de 31 a 40 años y el 18% más de 50 años. Los entrevistados en su mayoría tienen trabajos estables, independientes o en relación de dependencia en empresas de bienes y servicios de San Antonio de Los Cobres.

Nivel de instrucción de los entrevistados:

En el universo de entrevistados 13% tiene cursados estudios universitarios y corresponden a 2 docentes y 1 empleado de una empresa minera, el mayor número 36 % corresponde a personas con el secundario completo, siendo el mismo formado por empleados de la municipalidad, enfermeros y administrativos, con el primario completo el 27% , en su mayoría son personas que no tienen relación de dependencia, dueños de kioscos, almacenes, mecánicos como así también poseedores de planes sociales, completan los entrevistados 3 con secundario incompleto y dos con terciario incompleto. Se detectó en la entrevista que el número de desocupados es mínimo 2 personas en total.

Tiempo de permanencia en la zona:

Del total de entrevistados 2 tienen un tiempo de residencia en la zona de 3 años, considerando que la elección de los mismos fijaba un límite mínimo de permanencia de 2 años, 5 personas tienen un tiempo de residencia comprendido entre 11 y 20 años, y el mayor número corresponde a individuos que poseen un tiempo de permanencia de más de 20 años.

## 2.5 Adobe de San Antonio de los Cobres

Se tomaron en cuenta los ensayos a resistencia a la compresión de adobes oriundos de San Antonio de los Cobres, realizados en trabajos anteriores (Sastre, Suarez, González, 2012), con el propósito de comparar con los resultados de ladrillos macizos y bloques huecos elaboradas con los finos de perlitas.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

### 2.5.1 Características de los adobes

El adobe es un ladrillo de barro sin cocer secado el sol. Lo importante en el momento de fabricar esta pieza es la selección de la tierra que lo compone. El adobe se elabora con una mezcla de arcilla, arena y agua, se introduce en moldes, luego se deja secar al sol por lo general unos 25 a 30 días (Moscoso, 2010). Para evitar que se agriete al secar se añaden a la masa paja, crin de caballo, heno seco, que sirven como armadura. Las dimensiones adecuadas deben ser tales que el albañil pueda manejarlo sin tener ningún tipo de problema. La mezcla ideal está compuesta por: 62 % Arena, 18 % Limos y 20 % Arcilla.

La granulometría obtenida para el adobe de San Antonio de los Cobres es:

- Porcentaje retenido tamiz 200= 78,35%
- Materia orgánica entre 1,5 a 5 gramos.
- Contenido de arcilla 30% y de árido 70%

### 2.5.2 Resistencia a compresión de los adobes

La resistencia a compresión de los mampuestos de adobe varía entre los 0.20 a 1,03 MPa (Sitton, Zeinali, Heidarian, Story, 2018) y de acuerdo a otros trabajos, varía entre los 0.53 y 1.72 MPa (Varum, Costa, Martins, Pereira, Almeida, Silveira, 2007), y de 0.45 a 1.68 MPa (Fernandes, Varum, 2011). En el caso particular del San Antonio de los Cobres, los valores de resistencias se encontraban dentro del rango de valores anteriormente nombrados, entre 1.17 y 1.50 MPa.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura 2.5 Lugar donde se fabrican adobes en San Antonio de los Cobres

Se puede observar en la Figura 2.6 que las personas deben alejarse cada vez más del centro urbano para poder encontrar la materia prima adecuada para fabricar adobes de calidad aceptable. Esto es por la alta demanda de arcilla que existe en la zona.



Figura 2.6 Se fabrican adobes en sectores alejados al centro urbano

## 2.6 Laboratorio de Ingeniería Civil

El laboratorio donde se fabrican y ensayan los mampuestos de perlita cruda se ubican en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Salta. También se realizaron

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

algunos ensayos en el Laboratorio del Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad (CINTEMAC) en la ciudad de Córdoba.

El método de fabricación y de ensayo se detallará en un capítulo siguiente. Además, se aclarará cómo se realizó el curado de los mampuestos para que sean similares a los que se fabricarán y curarán en San Antonio de los Cobres.



Figura 2.7 Mesada y prensa mecánica en el laboratorio

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## CAPITULO 3:

### LA PERLITA

Aborda el estudio de la perlita brindando la definición, describiendo la zona y el proceso de extracción. Se analizan las propiedades físico químicas de la perlita. Y se describen los ensayos que permiten caracterizar este material.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

### 3.1 Introducción

La perlita es un vidrio volcánico amorfo que tiene un contenido de agua relativamente alto. Es un mineral que aparece en la naturaleza y tiene la propiedad poco común de expandirse cuando se la calienta lo suficiente.

Por esta capacidad de multiplicar su tamaño varias veces, la perlita pierde densidad y permite ser utilizada como filtrante para vinos, jugos y aceites comestibles, también como aislante térmico para obras de ingeniería y como sustrato en la agricultura.

La perlita cruda, tal cual se extrae del suelo, es sometida a altas temperaturas de entre 850 y 900° C durante su industrialización, esto provoca que el agua atrapada en su interior se convierta en vapor y escape. Por esta razón física es que el material se expande de siete a dieciséis veces con respecto a su volumen original.

Según el ingeniero Roberto Vázquez Rivera, director ejecutivo de Perfiltra SA, en América solo producen perlita Estados Unidos, México y Argentina. En Chile, los altos contenidos de hierro asociados a la perlita no permiten su explotación. Otras fuentes señalan que también se produce en Grecia, Japón, Turquía, Hungría, Italia y Alemania.

En la construcción, la perlita tiene propiedades como aislante térmico y acústico, debido a que su estructura está conformada por celdas de aire. Se la mezcla con cemento, cal o yeso y permite una terminación fina en revoques. Por su bajo peso, los empresarios del sector publicitan una reducción de costos de hasta el 30 por ciento en la construcción al emplear perlita en vez de otros materiales.

Las mezclas obtenidas con perlita expandida constituyen un material excepcionalmente fácil de transportar, mezclar y de aplicar en obra. Sus usos y posibilidades de aplicación son tan amplios como versátiles, permitiendo la realización de contrapisos tradicionales livianos, cargas de techos y azoteas, rellenos en bajo losas, revoques aislantes y/o cortafuegos, piezas premoldeadas de cualquier tamaño, etc.

En agricultura, la perlita tiene un rol fundamental en la práctica conocida como “hidroponía”. Según esta práctica, en vez del suelo tradicional se cultiva la planta en un medio de soluciones minerales. Las raíces pueden crecer en un medio dominado por la perlita, que tiene la capacidad de contener agua, aire y otros elementos vitales para el vegetal.

El sitio web de Perlome (<http://www.perfiltra.com/products/index/perlome-agricultural-perlite>) declara que la hidroponía con perlita se ha desarrollado con éxito en el cultivo de cítricos y olivos, como así también en flores de corte.

La perlita es un mineral versátil y sostenible que se extrae y se procesa con un impacto insignificante sobre el medio ambiente. Y la comunidad ambientalista reconoce a la perlita para la ejecución de productos mejorados, con peso ligero aislante cubiertas, como agregado a losas de hormigón lo cual da soluciones de alto rendimiento, como un material natural utilizado en la agricultura, etc.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Hoy este mineral tiene un valor alto en el país: si bien en San Juan su consumo es alto, no se produce, pero en Salta están asentadas 9 de las 10 compañías que la producen (la otra está en Mendoza), según un informe que publicó recientemente Mining Press. La exportación salteña de la perlita le implicó a esa provincia una divisa superior al 1,05 millón de pesos argentinos.

### 3.2 Descripción geográfica de la Puna

La Puna es un enorme bloque del antiguo basamento cristalino levantado a gran altura por la orogenia del terciario, es una peniplanicie ondulada surcada por cordones montañosos orientados según los meridianos, algunos hasta 2.000 metros sobre el nivel de la Puna, la cual oscila entre los 3.500 y 4.000 metros sobre el nivel del mar, conformando en su interior valles sin desagües.

En general, las montañas interiores poseen un relieve áspero a causa de la intensa meteorización bajo un clima árido, frío y ventoso, las formaciones volcánicas dominan el relieve al occidente Volcán Socompa (6.031m.), Volcán Lullailaco (6.710m.), Volcán de Azufre (5.680m.) que constituyen grandes masas aisladas y cónicas, cuyos perímetros están circundados por escorias.

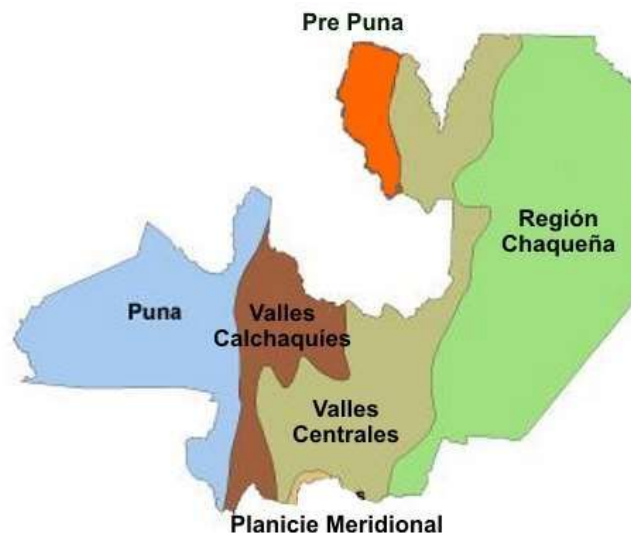


Figura 3.1 Descripción geográfica

#### 3.2.1 Marco geológico

La provincia geológica Puna, fue subdividida en dos sub-provincias por Alonso et al (1984). En la sub-provincia Puna Austral, se localizan los distritos perlíticos más importantes del subcontinente.

Los distritos perlíticos, están vinculados estrechamente al volcanismo cenozoico de la Puna y principalmente a los complejos volcánicos asociados a las cadenas Volcánicas Transversales definidas por Viramonte (1984). Al respecto es de hacer notar, que llama la atención que las rocas perlíticas, estén ausentes en los grandes estratovolcanes de la Cadena Volcánica Occidental (Viramonte et al, 1984) del límite internacional argentino-



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

chileno, estando profusamente distribuidas tanto en la Cadena Volcánica transversal del Quevar y en menor grado en la de Archibarca-Galan.

Quizás el fenómeno esté relacionado con el mayor grado de evolución magmática alcanzado en estas estructuras, así como también por el especial ambiente tectomagmático en que se desarrollan.

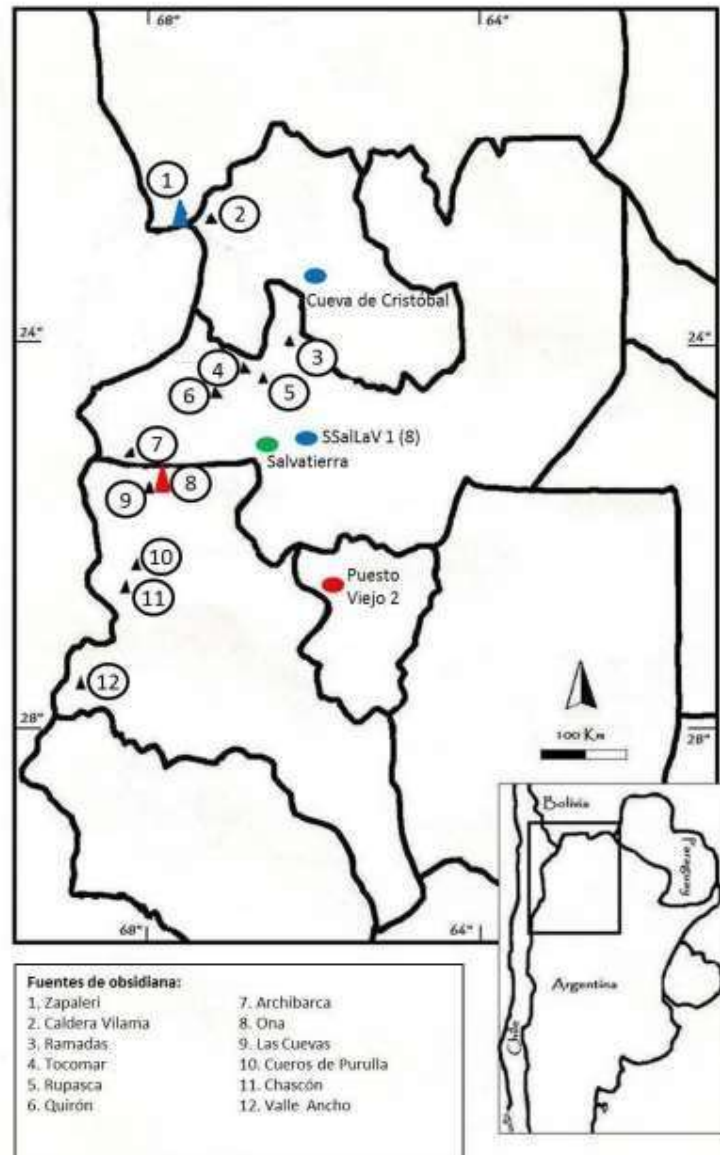


Figura 3.2 Ubicación de canteras

Quirón y Rupasca son los depósitos perlíticos de mayor actividad y los que se encuentran al sur de San Antonio de los Cobres, de donde extraen perlitas las empresas mineras.

El depósito de Rupasca constituye con el de Quirón los más importantes depósitos económicos de rocas perlíticas del noroeste argentino. Están situados a 35 km del Sur de San Antonio de los Cobres sobre un complejo volcánico localizado en la vertiente occidental del cerro Acay sobre el que existe poca información geológica. Está constituido por el grupo minero Tina, Betina, Argenina, Cristina, etc. sumados a los Heca, Penta, Tetra, Paco, Bambi, etc.



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Los yacimientos, están asociados a frentes de coladas dómicas que descienden hacia la quebrada de Rupasca en dirección oeste desde centros de emisión al presente no reconocibles situados hacia el oriente. La quebrada de Rupasca sirve de límite geológico natural entre estas rocas volcánicas y las rocas granitoides que conforman la faja eruptiva de la Puna Oriental. Las coladas están formadas por una masa principal de dacitas porfídicas, las cuales presentan facies vítreas más ácidas que han evolucionado a perlitas.

En el frente de las antiguas coladas situadas sobre la quebrada de Rupasca, es donde mejor pueden visualizarse las variaciones de sus facies. A su vez las perlitas presentan diferentes características, ya que puede reconocerse una variedad principal, constituida por la perlita gris de aspecto sedoso, textura maciza y fractura perlítica y variedades menos frecuentes de colores gris-rosado de aspecto fibroso y estructura lajosa.

Por otro lado, dentro de las facies dacíticas, es frecuente el hallazgo de nódulos obsidiánicos, los que algunas veces han evolucionado a perlitas. En los frentes de canteras existentes, la estructura de las perlitas denota al igual que en el distrito Quirón, la presencia de una zonalidad vertical, observándose una zona superior conteniendo nódulos felsíticos de gran tamaño (hasta 1,3 metros de diámetro). En este caso los nódulos se encuentran deformados ovoideamente, coincidentes con el sentido del flujo, por lo cual se interpreta que los mismos fueron producidos cuando aún, la colada tenía movimiento. La zona inferior es maciza, homogénea con mediana cantidad de fracturas perlíticas, las que permiten la separación de unidades granulares esferoidales de hasta 3 cm de diámetro.

Petrológicamente, se reconoce una masa vítrea, a veces marcadamente fluidal, con escasos individuos de plagioclasas, tablas de biotita, mineral de hierro reabsorbido, pequeñas esferulitas de cuarzo- feldespato y en algunos casos xenocristales de olivino (reconocidos con microsonda atómica) en reacción con la pasta.

### 3.2.2 Formación de la perlita

Como la perlita proviene de la obsidiana se dará una breve descripción de la formación de la perlita (Jamei, Guiras, Chtourou, Kallel, Romero, Georgopoulos, 2011)

La obsidiana es una roca utilizada para la fabricación de artefactos en casi todo el mundo desde tiempos inmemoriales. Esto no solo tiene que ver con sus propiedades físico - mecánicas, sino también con aspectos de carácter simbólico.

En principio, esta materia prima es ideal para la realización de instrumentos principalmente por su elasticidad, su dureza y su fragilidad que permite que el tallador pueda lograr de manera efectiva los productos ideados. Asimismo, esta roca y/o sus productos han sido bienes objeto de extensas redes de circulación en todo el mundo (Burger, 2006; Escola y Hocsman, 2007; Tykot, 2002; entre otros).

Ahora bien, las obsidianas son recursos geológicamente escasos y con localizaciones puntuales en el terreno. La obsidiana, es una roca ígnea volcánica compuesta por vidrio volcánico, principalmente SiO<sub>2</sub> “óxido de silicio”.

A su vez presenta una serie de elementos con concentraciones menores al 0,1% a los que comúnmente se denomina elementos traza. Las concentraciones de estos son específicas

## Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques. Uso en viviendas sociales.

de cada formación o parte de formación geológica. La caracterización de una fuente sirve para comparar composiciones y variabilidades entre fuentes. Mediante métodos estadísticos con determinados parámetros, se puede discriminar entre grupos y asignar la pertenencia de una muestra a un grupo en particular. Su color puede variar según la composición de las impurezas del negro al incoloro, pasando por verdes oscuros, claros, rojizos y estar vetado en blanco, negro y/o rojo. El color de los especímenes arqueológicos muchas veces depende del tamaño y espesor de la pieza. Dado que la obsidiana es metaestable en la superficie de la Tierra (a lo largo del tiempo, el vidrio deviene en cristales minerales de grano fino), no se han hallado obsidianas más antiguas que cenozoicas (70 millones de años). Este deterioro de la obsidiana se acelera ante la presencia de agua. La obsidiana presenta bajo contenido de agua cuando es fresca, típicamente menos del 1%, pero se va hidratando progresivamente cuando se ve expuesta a aguas subterráneas o meteóricas. Así, a medida que pasa el tiempo, la obsidiana va envejeciendo y adquiriendo una estructura perlítica, que ocasiona la descomposición de la roca en esferitas y fragmentos de milímetros de tamaño a causa de las grietas de contracción irregular. A partir de las grietas y de las burbujas diminutas (las esferitas) se inicia la desvitrificación.

Primero se forman cristales microscópicos de cuarzo, cristobalitas y feldespato y se puede observar un crecimiento ordenado de cristales en forma de fibras radiales (esferulitas). La obsidiana caracterizada por las esferulitas se llama perlita, ya tiene la apariencia de una perla al observarse microscópicamente a pocos aumentos (Griem y Griem-Klee, 2009). Esta clase de estructura perlítica no es una característica deseable en una roca que se desea tallar. El rasgo que caracteriza a la perlita y la aparta de otros vidrios volcánicos es que cuando se calienta hasta cierto punto, se expande de cuatro a veinte veces su volumen original.



Figura 3.3 Perlitas de distintas tonalidades

Cuando se calienta rápidamente mediante procesos industriales a más de 871°C, la roca cruda se infla al combinarse los vapores de agua y crear incontables burbujas minúsculas que evidencian la liviandad y otras propiedades físicas excepcionales de la perlita expandida. La perlita tiene muchos usos que se pueden resumir en tres categorías:

- aplicaciones en construcción,

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

- aplicaciones en horticultura
- aplicaciones industriales (Alonso, 2007).

Los depósitos de perlita tienen formas bastante irregulares, lo cual refleja la extensión original del vidrio volcánico y las zonas que sufrieron de una hidratación significativa. Los límites son usualmente graduales y van de la perlita a la obsidiana, desde vidrio volcánico desvitrificado a un núcleo de felsita cristalina. La minería de perlita se realiza en todo el mundo. Se estima que Estados Unidos es el mayor consumidor y productor, tanto de cruda como expandida. En la República Argentina existen yacimientos de perlita en las provincias de Catamarca, Jujuy, Mendoza, Río Negro, Chubut y Salta, siendo esta última provincia la que posee los yacimientos más productivos del país (Secretaría de Minería, Industria y Recursos Energéticos de la provincia de Salta 2004-2005).

### 3.2.3 Perlita de San Antonio de Los Cobres

La perlita es de origen volcánico, la misma se obtiene de canteras a cielo abierto, donde trabaja actualmente, entre otras de menor envergadura, la minera IMERYS y la cual extrae en forma diaria aproximadamente 100 toneladas por día dando una producción anual cercana a las 30.000 toneladas, en San Antonio de los Cobres. De dicha extracción de las canteras de Pava, Guanaco y Gacela, el 20 por ciento es residuo y es lo que se usa para la elaboración de los mampuestos de perlita.



Figura 3.4 Cantera a cielo abierto de perlita cruda

Geológicamente el mineral de Perlita es una roca de origen volcánico, con la propiedad saliente de tener del 2 al 7 % de agua en estado de adsorción. Cuando es procesado y sometido a un shock térmico de 900-1000 °C, se produce la Perlita Expandida, que se utiliza como árido liviano, disminuyendo su densidad 30 veces. En el presente trabajo se utilizaron finos de perlitas desechados por la industria minera y como puede verse en la Figura 3.8, en estado pulverulento, con un tamaño comprendido entre los 75 y 150 micrones. Los datos de estos finos, fueron suministrados por la empresa minera anteriormente nombrada. Con estos finos se elaboran mampuestos que remplazarían a los tradicionales adobes brindando una alternativa para la edificación de viviendas sociales.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura 3.5 Desechos de finos de perlita cruda

El gráfico 3.1. hace mención a la producción de perlita hasta el año 2015:

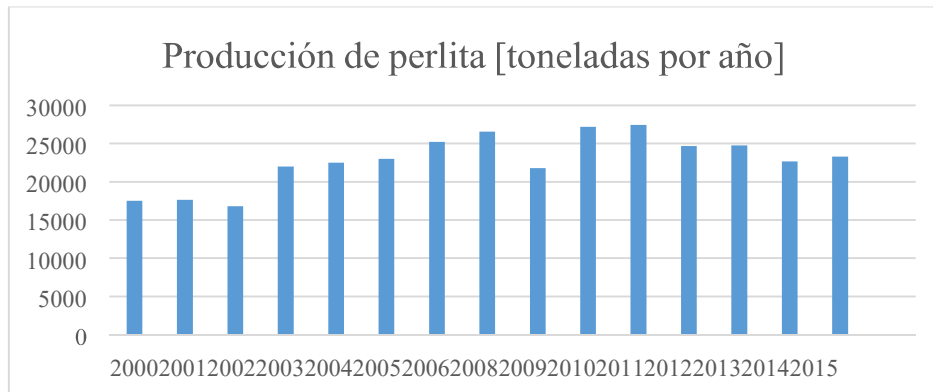


Gráfico 3.1 Producción de perlita en toneladas

En el gráfico 3.1 se observa que la producción minera de perlita en toneladas por año se ha incrementado respecto a los valores iniciales del presente siglo, aunque se mantuvieron estables en los últimos años.



Figura 3.6 Vista satelital de empresa IMERYS

De acuerdo a los datos de la Secretaría de Minería de Salta, la producción superó las 25 mil toneladas y casi 3 mil toneladas fueron derivadas a la exportación, siendo Brasil y



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Chile los destinos principales. La producción de perlita viene en ascenso desde el inicio del siglo XX, y en el marco de un contexto de crecimiento de los precios a nivel internacional todo indica que la tendencia debería mantenerse e incluso agudizarse si todas las variables confluyen.



Figura 3.7 Camino cercano a una cantera de perlita

#### 3.2.4 Obtención y extracción de perlita cruda

El primer proceso consiste en la extracción de la materia prima en la cantera, donde se somete a un proceso de limpieza, eliminación selectiva de las impurezas, pasando posteriormente las piedras a molerse en sucesivos molinos.

Luego pasa a una zona de desecado a elevada temperatura (300-400 °C) para eliminar la humedad del mismo, y proceder a su clasificación en distintas bandas granulométricas. Todo este proceso se realiza normalmente en las plantas cercanas a las canteras a cielo abierto.

La siguiente fase de la materia prima, es el tratamiento térmico en el horno de expansión. Se trata de un horno vertical, alimentado de forma continua con depósitos de propano. Al ponerse en contacto el mineral con una llama a alta temperatura, superior a los mil grados centígrados, se provoca un cambio en su estado fisicoquímico, ya que se evapora bruscamente el agua, estallando la partícula y aumentando de 10 a 20 veces su volumen original. La homogeneidad en la distribución de las partículas, es el factor más difícil de conseguir. Esto se realiza en la planta ubicada en la provincia de Tucumán.

## Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques. Uso en viviendas sociales.

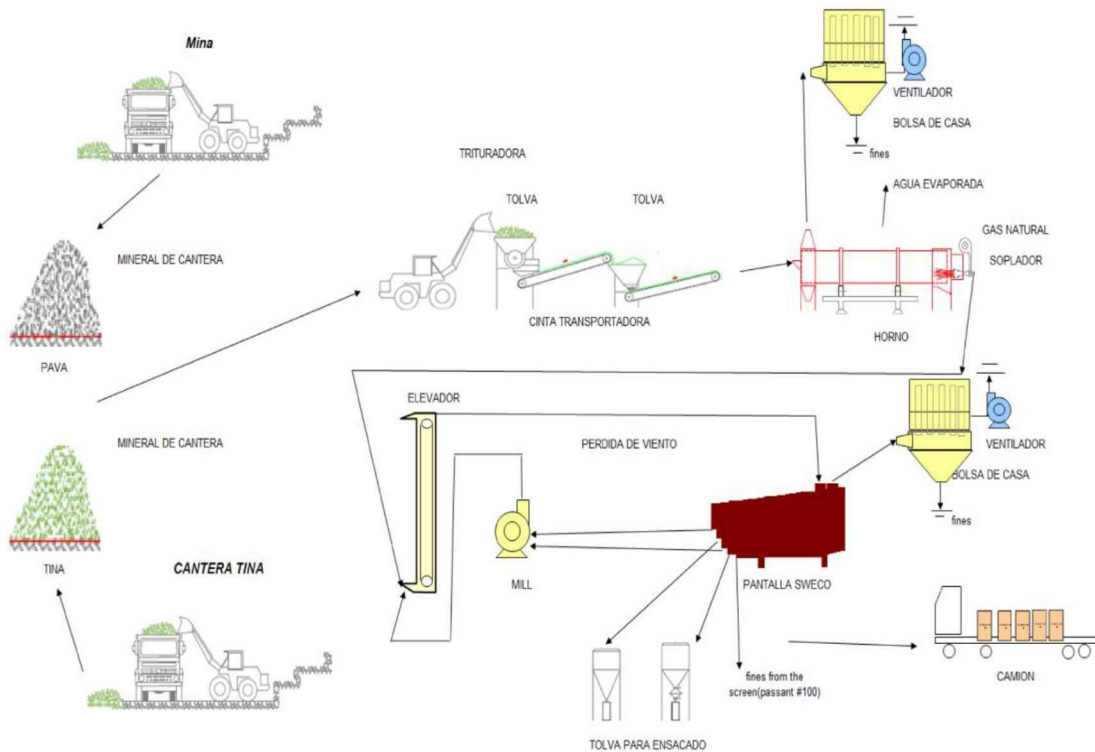


Figura 3.8 Proceso de extracción de perlita cruda

Como se puede observar en la Figura 3.8, el proceso comienza en cantera, se hace una extracción mecánica a través de una pala cargadora y se cargan en camiones volquetes desde 8 a 10 toneladas y este material es transportado a la planta de San Antonio de Los Cobres.

En dicha planta se realiza un acopio de 1200 toneladas durante una semana para que el material pierda humedad ya que desde cantera viene como una humedad del 6 al 8 % y se requiere que tenga una humedad menor al 5 %, al reducir la humedad se tiene menor consumo de gas y electricidad en la planta. Se procesa el mineral durante 24 hs en 3 turnos de 8 hs.

El procesamiento consiste en que con la pala cargadora se va alimentando la quebrantadora, esta a través de un sistema de mallas va transportando a un horno de secado a una temperatura de 600 a 700 grados según el mineral y la humedad que viene de cantera. Luego se pasa a una dosificadora en donde se realiza la separación granulométrica y se embolsa lo retenido en el tamiz 200. Este proceso no genera una expansión.

En síntesis, lo que se realiza en la planta de San Antonio de los Cobres es

1. Extracción
2. Transporte
3. Acopio

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

4. Triturado

5. Secado previo

6. Separación granulométrica (se eleva a la zaranda vibratoria, la cual posee diferentes mallas)

7. Embolsado de 1 tonelada

8. Este material embolsado se manda en camiones a Tucumán en donde se realiza la expansión

Los ventiladores en la Figura 3.8 levantan el material y los mandan al horno, lo que se rechaza en el horno se vuelve a introducir en el sistema, es decir existe un reciclaje. Se embolsan en los baghouse y se determina si podrán ser utilizados según su granulometría, o si es necesario que exista un reprocesado. Si se descartan porque son pasantes del tamiz 200 se los denomina scrap.

### 3.3 Volúmenes de residuos anuales

Como se dijo anteriormente, se extraen alrededor de 30.000 toneladas de perlita en crudo desde la cantera, y se genera un residuo del 20% aproximadamente (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Cantidades en toneladas de extracción, producción y consumo de perlita

Año 2015	Extraídas [Toneladas]			
Periodo	PAVA	TINA	GACELA	TOTAL BRUTAS
ene-15	2749,68	254,06	113,42	3117,16
feb-15	1400,18	-	-	1400,18
mar-15	1595,36	-	176,22	1771,58
1° Trimestre	5745,22	254,06	289,64	6288,92
abr-15	2905,06	-	246,78	3151,84
may-15	1060,39	-	179,18	1239,57
jun-15	-	188,34	855,69	1044,03
2° Trimestre	3965,45	188,34	1281,65	5435,44
jul-15	910,72	344,4	183,02	1438,14
ago-15	936,38	435,64	99	1471,02
sep-15	2735,8	0	495,98	3231,78
3° Trimestre	4582,9	780,04	778	6140,94

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

oct-15	839,24	-		839,24
nov-15	-	-		-
dic-15	-	-		-
4° Trimestre	839,24	-	-	839,24
Total Anual	15132,81	1222,44	2349,29	18704,54

Año 2015	Producidas [Toneladas]			
Periodo	PAVA	TINA	GACELA	TOTAL BRUTAS
ene-15	1431,53	188,54	42,99	1663,06
feb-15	1286	181	122	1589
mar-15	1605,23	85,11	168,74	1859,08
1° Trimestre	4322,76	454,65	333,73	5111,14
abr-15	1208,39	99,62	56,97	1364,98
may-15	1257,4	33	88,35	1378,75
jun-15	-	1556,17	-	1556,17
2° Trimestre	2465,79	1688,79	145,32	4299,9
jul-15	758,48	114,7	156,5	1029,68
ago-15	1061,49	42,06	82,08	1185,63
sep-15	1165,65	113,38	194,55	1473,58
3° Trimestre	2985,62	270,14	433,13	3688,89
oct-15	1108,11	58,56	56,62	1223,29
nov-15	-	-	-	-
dic-15	-	-	-	-
4° Trimestre	1108,11	58,56	56,62	1223,29
Total Anual	10882,28	2472,14	968,8	14323,22



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Año 2015	Consumo de crudo [Toneladas]			
Periodo	PAVA	TINA	GACELA	TOTAL BRUTAS
ene-15	1750,88	268,45	50,91	2070,24
feb-15	1542,56	253,22	144,7	1940,48
mar-15	1930,31	119,65	202,21	2252,17
1° Trimestre	5223,75	641,32	397,82	6262,89
abr-15	1434,99	137,57	147,58	1720,14
may-15	1411	45,47	164,88	1621,35
jun-15	1693,44	135,58	220,57	2049,59
2° Trimestre	4539,43	318,62	533,03	5391,08
jul-15	923,34	152,7	183,08	1259,12
ago-15	1252,96	55,24	284,24	1592,44
sep-15	1413	157,27	230,34	1800,61
3° Trimestre	3589,3	365,21	697,66	4652,17
oct-15	1340,33	87,15	68,94	1496,42
nov-15	-	-	-	-
dic-15	-	-	-	-
4° Trimestre	1340,33	87,15	68,94	1496,42
Total Anual	14692,81	1412,3	1697,45	17802,56

Porcentaje de desecho = (Consumo – Producida) / Consumo

Residuo en crudo [anual]      20%      3.479 tn

Serían 3.479 toneladas de desecho en un año, dando alrededor de 290 toneladas por mes. Hay que tener en cuenta que estos desechos actualmente se depositan en diques de cola, por lo que el uso de los residuos beneficiará no solo a las comunidades, sino también a las empresas.

### 3.4 Costo de perlita cruda

En el año 2001 el costo aproximado de la perlita era US\$36,31 por tonelada métrica. El precio de la perlita extraída de la mina se ha incrementado desde entonces:

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

- 2001... US\$ 36,3 por tonelada métrica
- 2002... US\$ 36,5 por tonelada métrica
- 2003... US\$ 38,2 por tonelada métrica
- 2004... US\$ 40,6 por tonelada métrica
- 2005... US\$ 42,5 por tonelada métrica
- 2015... US\$ 73,9 por tonelada métrica

### 3.5 Usos de la perlita

- Industria de la construcción: la perlita es mezclada con argamasa, hormigón y estuco para impartir propiedades acústicas y térmicas, liviandad en el peso, y resistencia al fuego. Se aplica en: o hormigón liviano: peso utilizado en la cubierta de techos, suelos y tejas y componentes prefabricados.
  - Productos terminados en losas de cielorrasos acústicos, aislamiento de tuberías, tablas de techo aislantes.
  - Pérdidas de carga aislante en pisos y cavidades de pared.
- Horticultura: la perlita, es usada para modificar los suelos reduciendo su firmeza y facilitando el drenaje de agua y la retención de humedad. La perlita es usada también como un medio de propagación para plantas de semilla y en el embalaje y almacenamiento de bulbos y plantas.
- Pintura: la perlita es utilizada como carga.
- Plásticos como extendedor.
- Filtración: la perlita molida tiene una amplia aplicación, en la industria de efluentes, azúcar, jugos de fruta, aceites y otros fluidos como auxiliar filtrante.

Seguidamente se detalla un muestreo de los grados de perlita expandida y sus aplicaciones:

- Superfina: Fuente de sílice (perlita sin expandir) y microburbujas.
- Fina: Manufactura de PVC y nylon. Carga en pinturas, plásticos y resinas.  
o Media: criogénicos, losas acústicas, argamasa, tablas para techos, y aislantes generales.
- Grueso: Agregados de hormigón, materiales de albañilería y pérdidas de carga.
- Muy Grueso: Aplicaciones en horticultura, absorbentes de aceites, y fundición de escoria.

Las aplicaciones de perlita como materia prima pueden dividirse en nueve ítems que se añaden a su uso más común en la producción de agregados superlivianos:

- Industria de cerámicas y vidrio
- Producción de explosivos o
- Manufactura de filtros o
- Manufactura de electrodos o

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

- Producción de cementos y hormigones o
- Industria de perlita o
- Industrias mineras o
- Manufactura de fibras minerales o
- Operaciones metalúrgicas

Algunas de estas aplicaciones tienen ya su uso comercial mientras que otras son todavía materia de investigación para su eventual aplicación en un mediano plazo. La directa aplicación de la perlita como materia prima en nuevas aplicaciones aparte de sus tradicionales usos en aplicaciones en la construcción y agricultura, deberían liderar el aumento en la producción de perlita en un futuro.

### 3.6 Propiedades físicas y químicas

#### 3.6.1 Propiedades físicas

La perlita aparece en granos denominados "colonias"; dentro de cada colonia las capas están orientadas esencialmente en la misma dirección y esta dirección varía de una colonia a otra. Las capas delgadas claras son de ferrita, y la cementita aparece como capas delgadas más oscuras. La mayoría de las capas de cementita son tan delgadas que los límites de fases adyacentes no se distinguen (Revista Digital para profesionales de la enseñanza, 2008).

Enfriando la austenita con una concentración intermedia de carbono, se transforma en fase ferrita, con un contenido de carbono inferior, y en cementita, con un porcentaje superior de carbono. Los átomos de carbono necesitan difundir para segregarse selectivamente. Los átomos de carbono difunden de la región ferrítica a las capas de cementita para conseguir la concentración del 0,77% en peso de carbono y la perlita se propaga, a partir de los límites de grano al interior de los granos austeníticos. La perlita forma láminas porque los átomos de carbono necesitan difundir la distancia mínima dentro de su estructura. Hay dos tipos de perlita:

- Perlita fina: dura y resistente.
- Perlita gruesa: menos dura y más dúctil.

La razón de este comportamiento radica en los fenómenos que ocurren en los límites de fases ( $\alpha$  y cementita). En primer lugar, hay un alto grado de adherencia entre las dos fases en el límite. Por lo tanto, la resistencia y la rigidez de la fase cementita restringe la deformación de la fase (ferrita), más blanda, en las regiones adyacentes al límite; es decir, la cementita refuerza a la ferrita. Este grado de reforzamiento es más elevado en la perlita fina porque es mayor la superficie de límites de fases por unidad de volumen del material. Además, los límites de fases sirven de barrera para el movimiento de dislocaciones, del mismo modo que los límites de grano. En la perlita fina y durante la deformación plástica las dislocaciones deben cruzar más límites de fases que en la perlita gruesa. De este modo

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

el mayor reforzamiento y restricción del movimiento de las dislocaciones en la perlita fina se traducen en mayor dureza y resistencia mecánica.

La perlita gruesa es más dúctil que la perlita fina a consecuencia de la mayor restricción de la perlita fina a la deformación plástica.

Las propiedades físicas de los finos de perlitas de San Antonio de Los Cobres se muestran en la Tabla 3.2, se realizó estudios de densidad aparente, humedad libre, PH, pérdida por ignición, color y forma.

Tabla 3.2 Propiedades físicas de finos de perlita

Densidad aparente suelta de mineral crudo	g/dm <sup>3</sup>	1100-1250
Color y forma	-	Gris granulado
Humedad libre	%	< 1
PH	Neutro	6 - 8
Pérdida por ignición	%	3 - 5

Otros datos de interés de la perlita de San Antonio de Los Cobres son:

- Porcentaje de humedad en cantera 8%
- Porcentaje de humedad en planta 5%
- Densidad aparente de cantera Pava: 1,05 g/dm<sup>3</sup>
- Densidad aparente de cantera Gacela: 2,1 g/dm<sup>3</sup>
- Densidad aparente de cantera Guanaco: 1,7 g/dm<sup>3</sup>

### 3.6.2 Composición Química

La perlita es un mineral de origen volcánico compuesto principalmente por óxido de silicio y de aluminio.

Desde el punto de vista químico se destacan los elevados contenidos de sílice (72%) y alúmina (13%), álcalis (sodio y potasio), con bajos tenores de hierro, calcio y magnesio. Dado que la génesis de la perlita es volcánica, su presencia está relacionada con ciertos tipos de lavas. La Puna Argentina es una región eminentemente volcánica y en ella se han encontrado numerosas coladas y domos de vidrio que se han perlitizado. Los principales yacimientos de Argentina y América del Sur se encuentran en Salta. En su mayor parte se han formado durante el periodo Terciario, en el Mioceno, y tienen edades de unos 8 millones de años.

Si bien se conocen una decena de localidades en Salta y algunas manifestaciones en Catamarca, los principales distritos son los del Volcán Quevar, Ramadas y Rupasca. Al ser rocas su tipo de explotación recibe el nombre de canteras. Las primeras referencias sobre perlita en Salta al parecer se deben al trabajo publicado en 1971 por el Dr. Bernabe J. Quartino sobre las canteras Taurus y Anfítrite del Complejo Volcánico Quevar. La

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

ladera sur del volcán es rica en depósitos de perlita y se lo conoce como distrito Quirón. El tipo de perlita dominante es de color verde botella con alto porcentaje de agua lo que le confiere una gran capacidad de expansión. En menor proporción, se encuentran variedades grises, blanco-rosadas y rojizas.

Se mencionan las canteras Taurus, Anfitrite, Ángel del Infierno, Rosita, Acuyico, Centauro, Delfina, San Roque, San Cayetano, Casiana, entre otras. Ellas fueron explotadas en su época por el mítico minero puneño don Omar Espinosa. Pero tal vez el hombre que más empeño puso en el estudio y desarrollo de los vidrios puneños fue don Joaquín von Schwanebach, precisamente en las canteras de Quirón.

La perlita actúa en este caso como inhibidor de la pérdida de circulación en los lodos de perforación. El yacimiento mejor ubicado es el de Ramadas a solo 15 km al norte de San Antonio de los Cobres. El tema de la perlita fue ampliamente estudiado en la Universidad Nacional de Salta que cuenta con los dos mayores expertos en el tema, el Dr. José Viramonte en los aspectos geológicos y el Ing. Hugo Destefanis en los aspectos técnicos y de aplicación. A pesar de su importancia como mineral industrial la perlita es un material no metalífero y como tal de bajo precio lo que vincula su valor al costo de los fletes. Las principales empresas mineras en el rubro perlita son Multiquim, Perfiltra, Minaclar, Perlita Salta e Imerys. Generalmente se la lleva cruda a Tucumán donde se la expande en hornos especiales a temperaturas cercanas a los 1000°C para su comercialización en el país o su exportación, especialmente a Brasil.

En la tabla 3.4, se presentan los análisis químicos de vidrios volcánicos provenientes de diversos distritos del noroeste argentino. En ellos se observa como característica principal su elevado contenido en sílice y álcalis, con bajos tenores de hierro, calcio y magnesio. El contenido de H<sub>2</sub>O es variable, pero generalmente es superior al 2%, siendo este un valor límite entre aquellos vidrios que tiende a un comportamiento perlítico, (fácil y rápida expansión a temperatura entre 700 a 1000 °C) de aquellos que, o bien no expanden (obsidianas con bajo tenor de hidratación) o aquellos que necesitan temperatura y tiempos mayores que los citados.

Desde el punto de vista petrológico, los análisis químicos de estos materiales, indican que se trata de Riolitas (Zanettin, 1984) pertenecientes a la serie calcolacalina de alto contenido en potasio (Peccerillo y Taylos, 1976), lo que es coincidente con su preferente ubicación geotectónica.

Se denota un cierto agrupamiento por distrito, (Antofalla, Quirón, etc.) aunque lógicamente muestran una tendencia evolutiva única, típica de la serie a la que pertenecen, mostrando ser todas ellas términos finales de esta. La naturaleza estructural se determinó mediante espectroscopia de I.R. los espectros se obtuvieron sobre pastillas de bromuro de potasio con un contenido de muestra de 3% en peso y pastillados a una presión de 4,5 tn/cm<sup>2</sup>.

Los resultados muestran para todas las variedades analizadas, una banda de absorción entre 3000 y 3800 cm<sup>-1</sup>, correspondientes a los grupos OH y otra a 1649 cm<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O de hidratación. Se observan también las absorciones características de los silicatos fundidos, cuya estructura consiste básicamente en un arreglo desordenado de tetraedros no

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

distorsionados de  $\text{SiO}_4$ , a  $1080 \text{ cm}^{-1}$  estiramiento Si-O, a  $800 \text{ cm}^{-1}$ , estiramiento inter-tetraedros Si-O-Si y a  $460 \text{ cm}^{-1}$  flexión Si-O-Si (Stubicam y Roy, 1961) y tal como lo describiera para algunas variedades Destefanis et al (1987) y Destefanis et al (en prensa).

Tabla 3.3 Composición mineral de la perlita en distintos distritos

	Rupasca			
Distrito	PA1	PA4	PA5	PA6
Color	negro	gris	gris	verde
$\text{SiO}_2$	73,65	75,05	75,4	75,84
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12,51	11,07	11,55	11,55
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,55	0,45	0,42	0,35
FeO	0	0	0	0
MnO	0,07	0,07	0,07	0,07
MgO	0,23	0,23	0,13	0,23
CaO	0,97	0,81	0,74	0,81
$\text{Na}_2\text{O}$	2,99	2,84	3,31	3,31
$\text{K}_2\text{O}$	5,29	4,85	4,72	4,65
$\text{P}_2\text{O}_3$	0,04	0,03	0,03	0,03
$\text{H}_2\text{O}$	3,39	4,32	2,95	2,78

	Quirón			
Distrito	PA16	PA10	PA11	PA14
Color	blanco	negro	negro	verde
$\text{SiO}_2$	73,95	75,64	71,97	73,15
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14,13	13	12,51	12,51
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,18	0,55	0,45	0,45
FeO	0,18	0	0	0
MnO	0,02	0,07	0,07	0,07
MgO	0,02	0,13	0,28	0,23
CaO	0,63	0,29	0,44	0,29
$\text{Na}_2\text{O}$	3,29	4,41	3,65	4,02

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

K <sub>2</sub> O	4,36	4,24	4,51	4,44
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,31	0,3	0,29
H <sub>2</sub> O	2,22	0,92	5,34	4,02

	Ramada
Distrito	PA21
Color	gris
SiO <sub>2</sub>	74,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,49
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,66
FeO	0
MnO	0,01
MgO	0,13
CaO	0,55
Na <sub>2</sub> O	4,14
K <sub>2</sub> O	4,24
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04
H <sub>2</sub> O	2,11

A continuación, en la Tabla 3.4. se observa la composición química de la perlita en distintas regiones del mundo de acuerdo a Industrial Minerals and Rocks, Kadey Jr. (1993).

Tabla 3.4 Composición química de perlita en regiones del mundo

Compuestos	Nuevo México	Arizona	Nevada	California	Grecia	Japón	Bulgaria	Hungría	Argentina
SiO <sub>2</sub>	72,10	73,60	73,10	73,60	74,20	74,20	73,80	73,50	72,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,50	12,70	12,80	13,20	12,30	12,90	12,80	13,00	13,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,80	0,70	0,70	0,80	0,95	0,68	0,56	1,80	1,00
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,10	0,08	0,07	0,08	0,06	0,07		0,08
CaO	0,89	0,60	0,90	0,60	0,85	0,45	0,50	1,50	0,59
MgO	0,50	0,20	0,20	0,10	0,13	0,05	0,03	0,40	0,30
Na <sub>2</sub> O	4,60	3,20	3,00	4,10	4,00	4,10	3,00	3,50	3,40
K <sub>2</sub> O	4,40	5,00	4,70	4,10	4,40	4,00	4,90	3,80	4,70
H <sub>2</sub> O	3,00	3,80	3,90	3,30	2,80	3,30	4,00	3,00	3,70

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

En síntesis:

La perlita no expandida ("cruda") tiene una densidad aparente cercana a 1100 kg/m<sup>3</sup> (1,1 g/cm<sup>3</sup>).

La perlita expandida tiene típicamente una densidad de 30–150 kg/m<sup>3</sup>.

Debido a su baja densidad y precio relativamente bajo, han aparecido muchas aplicaciones comerciales de la perlita. En el área de la construcción se usa en yesos y morteros livianos, aislamiento térmico, cielorrasos y filtros.

En horticultura se utiliza para hacer el "compost" más permeable al aire, manteniendo su capacidad de retener el agua; esto lo convierte en un buen sustrato para la hidroponía. La perlita también se utiliza en fundiciones, aislación criogénica, y como aditivo liviano en morteros ignífugos y en alfarería como aditivo de la arcilla.

El punto de fusión de la perlita es 40°C más bajo que el feldespato potásico (1093 °C), esto permite agregarla a una pasta de gres, bajando su punto de sintonización (el espesor de sintonización es el espesor de la capa en el que dos eventos se vuelven indistinguibles en el tiempo, y el conocimiento de este espesor es importante para los intérpretes sísmicos que desean estudiar los yacimientos de escaso espesor). Respecto a la molienda de la perlita es fácil, en el mortero lleva unos pocos minutos reducirla a polvo fino.

Composición típica de la perlita

- 70-75% dióxido de silicio: SiO<sub>2</sub>
- 12-15% óxido de aluminio: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 3-4% óxido de sodio: Na<sub>2</sub>O
- 3-5% óxido de potasio: K<sub>2</sub>O
- 0,5-2% óxido de hierro: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 0,2-0,7% óxido de magnesio: MgO
- 0,5-1,5% óxido de calcio: CaO
- 3-5% pérdida en el horno (agua químicamente combinada)

### 3.7 Ensayos para caracterizar la perlita cruda

#### 3.7.1 Descripción de las canteras Pava y Guanaco

Las canteras Guanaco y La Pava (Figura 3.9), se encuentran situadas en la provincia de Salta, República Argentina, departamento Los Andes en la región de Puna salteña, paraje La Ramada.

Se accede a través de la ruta nacional N° 51, en gran parte pavimentada hasta la localidad de San Antonio de los Cobres que es el núcleo poblacional más importante de la zona, la cual se encuentra a 165 km al noroeste de la ciudad de Salta, desde donde se continúa por la ruta nacional N°40 en dirección norte en un trayecto de 6 km, para finalmente llegar al sitio por una huella minera hacia el oeste. Es una zona que carece de vegetación, de flora



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

y fauna como así también de todo tipo de asentamiento humano, de un paisaje agreste y desolado.



Figura 3.9 Vista lateral y satelital de cantera “Pava”

La ubicación exacta, está dada por las coordenadas de la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Ubicación de Cantera La Pava y Guanaco

Coordenadas Gauss Kruger Cantera "La Pava"		
Puntos	Y	X
1	3467136,53	7329501,72
2	3467077,22	7329004,80
3	3466086,49	7329124,97
4	3466144,47	7329635,50

Coordenadas Gauss Kruger Cantera "Guanaco"		
Puntos	Y	X
1	3467077,22	7329004,80
2	3467016,68	7328505,49
3	3466026,25	7328617,68
4	3466086,49	7329124,97

### 3.7.2 Determinación de peso específico

Para ello se sigue la norma de Vialidad Nacional VN-E25-68 “peso específico aparente de suelos finos”. Se consideró utilizar dicha norma ya que se puede considerar a la perlita como un suelo fino.

Se utiliza un matraz de 50ml disponible en el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Salta.

La muestra de perlita utilizada fue un terrón extraído directamente de la cantera “Pava” en las proximidades de la localidad de San Antonio de los Cobres.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

### 3.7.3 Espectroscopia por fluorescencia de rayos X

La espectroscopia por fluorescencia de rayos X es una técnica analítica relativamente simple, en general, no destructiva, usada en la determinación cualitativa y cuantitativa de elementos que componen una muestra. Mediante este análisis, se obtienen datos de los elementos principales componentes del material analizado.

### 3.7.4 Microscopia electrónica de barrido (SEM)

El microscopio electrónico de barrido (SEM) es un equipamiento versátil que permite la obtención de información estructural y química de muestras diversas. Determina la composición semicuantitativa y cualitativa de los materiales de la muestra. La imagen electrónica de barrido está formada por la incidencia de un haz fino de electrones de alta energía en la superficie de la muestra, sobre condiciones de vacío. Del choque de los electrones con la muestra, parte del haz es reflejado y recogido por detectores que convierten la señal en imagen de electrones retrodifundidos, electrones “Auger” son los electrones secundarios. Ocurre también la emisión de rayos X, que brindan la composición química elemental de un punto o región de la superficie, posibilitando la identificación de cualquier elemento presente. (Carpena Coitinho Dal Molin, 2005).

Estas radiaciones cuando son captadas correctamente, brindan información característica sobre la muestra (topografía de la superficie, composición cristalográfica, entre otras). En la microscopía electrónica de barrido los signos de mayor interés para la formación de imagen son los electrones secundarios o retrodifundidos. El SEM tiene su potencial aún más desarrollado con la adaptación de detectores de rayos X, permitiendo la realización de análisis químicos en la muestra en observación. Por medio de la captación de los detectores y del análisis de los rayos X característicos emitidos por la muestra, resultado de la interacción de los electrones primarios con la superficie, es posible obtener información cualitativa y cuantitativa de la composición de la muestra en la región submicrométrica de incidencia del haz de electrones. (Carpena Coitinho Dal Molin, 2005).

### 3.7.5 Distribución Granulométrica

La distribución granulométrica del material es importante pues no da una referencia del tamaño medio de las partículas del material y su distribución por tamaño.

La fracción fina de la muestra de perlita corresponde a partículas que pasan el tamiz N° 100 ( $\emptyset \leq 75 \mu\text{m}$ ), se evaluaron mediante un analizador de distribución del tamaño de partículas por difracción láser.

Además de conocer la distribución de las partículas, también se busca determinar la cantidad de partículas menores a los 10 micrones, lo que trasformaría la perlita en un material dañino para la salud pulmonar.

De acuerdo a la OMS, la materia particulada es un indicador común de la contaminación del aire. Afecta a más personas que ningún otro contaminante. Los principales componentes de la materia particulada son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Consiste en una compleja

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Las partículas con un diámetro de 10 micrones o menos ( $\leq PM_{10}$ ) pueden penetrar y alojarse profundamente en los pulmones, aunque las partículas que tienen un diámetro de 2,5 micrones o menos ( $\leq PM_{2.5}$ ) resultan aún más dañinas para la salud. La  $PM_{2.5}$  puede atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. La exposición crónica a materia particulada contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón.

Por lo general, las mediciones de la calidad del aire informan de las concentraciones medias diarias o anuales de partículas  $PM_{10}$  por metro cúbico ( $m^3$ ) de aire. Las mediciones sistemáticas de la calidad del aire expresan las concentraciones de materia particulada en microgramos ( $\mu$ )/ $m^3$ . Cuando se dispone de instrumentos de medición suficientemente sensibles, se notifican también las concentraciones de partículas finas ( $PM_{2.5}$  o más pequeñas).

Existe una estrecha correlación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de materia particulada ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo. A la inversa, cuando se reducen las concentraciones de materia particulada gruesa y fina, la mortalidad conexas también desciende, en el supuesto de que los demás factores se mantengan sin cambios. Sobre esta base, las instancias normativas pueden efectuar proyecciones de la mejora de la salud de la población que cabe esperar como resultado de la reducción de la contaminación del aire con materia particulada.

La contaminación con materia particulada conlleva efectos sobre la salud incluso en concentraciones muy bajas; de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud. Por consiguiente, los límites que establecen las directrices de 2005 de la OMS persiguen lograr las concentraciones más bajas posibles de materia particulada.

### 3.7.6 Determinación de Sulfato. Solubilidad en agua y ácido clorhídrico concentrado

La determinación de sulfato ( $SO_4^-$ ) en una muestra de perlita cruda se determinó por el método gravimétrico, en la cual se busca encontrar dicha concentración expresada en gramos / 100 gramos de muestra seca.

En cuanto a la solubilidad en agua, se observa la capacidad de una sustancia para disolverse en otra se llama solubilidad. La solubilidad de la perlita cruda es la cantidad de éste, en gramos, que puede disolverse en 100 gramos de agua hasta formar una disolución saturada. Se considera que una disolución está saturada cuando no admite más soluto, por lo cual el sobrante se deposita en el fondo del recipiente. De manera similar se realiza con el ácido clorhídrico concentrado.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## Capítulo 4:

### Programa experimental

Se describen los materiales elegidos para la dosificación y fabricación del mampuesto. Se presentan las dosificaciones y los procedimientos experimentales empleados en la ejecución de los diferentes ensayos.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 4.1 Introducción

En este capítulo se aborda en lineamientos generales el programa experimental llevado a cabo durante el desarrollo de la tesis. Se describen las propiedades de los materiales componentes, la metodología de trabajo y los procedimientos de ensayo. También se presentan las dosificaciones de las mezclas.

Se analizaron mampuestos con contenidos altos de finos de perlita cruda, cuya proporción varió entre los 60 hasta los 90% en peso.

Se plantearon dos tipos de mampuestos, ladrillos macizos y bloques huecos, utilizado Cemento Portland Compuesto (CPC), cal hidratada, perlita cruda y agua. Para la determinación del agua se utilizó una relación agua – material cementante, donde entraba el cemento, la cal hidratada y la perlita, ya que se consideró que esta última aportaba resistencia a largos plazos.

En total se elaboraron diez mezclas que resultaron de un trabajo previo de corrección de dosificaciones, utilizando la consistencia superficial y la resistencia a la compresión, entre otras. En la sección 4.3.2 se indica la composición final de las mezclas ensayadas. De todas las dosificaciones realizadas, se trabajó con la que mayor porcentaje de perlita cruda poseía con la mejor resistencia a la compresión.

## 4.2 Materiales

La elección de estos materiales se justificó con la finalidad social que tiene el proyecto. Estos materiales se encuentran en la mayoría de los corralones de la región y son accesibles para la comunidad en general.

El cemento empleado fue un Cemento Portland Compuesto CPC 30, que responde a la Norma IRAM 50.000.

Con respecto a la Cal Hidratada, se empleó una proveniente de la localidad de La Merced, próxima a la ciudad de Salta Capital.

### 4.2.1 Cemento

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Mezclado con agregados pétreos y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétrea, denominada hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado en construcción. Cuenta con propiedades adhesivas y cohesivas las cuales dan la capacidad de aglutinar otros materiales para formar un todo, sólido y compacto.

Su uso se remonta a la antigüedad, desde la época de los egipcios, griegos y romanos, ellos iniciaron por mezclar arena, agua y piedra triturada, por lo que se puede decir que este fue el primer concreto de la historia. Se obtiene a partir de la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos, así como de otros que contengan sílice, aluminio y óxidos de hierro. Es un mineral finamente molido, usualmente de color grisáceo extraído de rocas calizas,

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

que al triturarse hasta convertirse en polvo y ser mezclado con agua, tiene la propiedad de endurecer. Su fabricación consiste en la trituración fina, mezclada en ciertas proporciones y calcinada en un horno rotatorio de gran dimensión, a una temperatura de 1400 °C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente formando bolas conocidas como Clinker, que cuando se enfría el material, se tritura hasta obtener un polvo fino al que se le añade un poco de yeso para obtenerse, como producto final, el cemento Portland (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones).

### Cemento Portland

El cemento Portland debe su nombre a la semejanza, en color y calidad, con la piedra de Portland, una caliza obtenida de una cantera en Dorset, Inglaterra. Este cemento empezó a ser desarrollado por Joseph Aspin, en 1824, (Gallo, Espino y Olvera, 2003). La definición del Cemento Portland Compuesto, dice que es conglomerantes hidráulico que resulta de la pulverización de Clinker frío, a un grado de finura determinado y al cual se le añaden agua y sulfato de calcio natural.

Según el grado de trituración, el cemento puede alcanzar un peso específico bastante elevado. Existen varios tipos de cemento dependiendo de su uso específico. En relación con su color general, se encuentran los cementos grises y blancos. La clasificación general para diferentes tipos de cemento de acuerdo con su propósito específico es la siguiente.

Tipos de cemento:

De acuerdo a la Norma IRAM 50.000, existen los cementos de uso general. Están compuestos por:

- Cemento Portland Normal (CPN)
- Cemento Portland con Filler Calcáreo (CPF)
- Cemento Portland con Escoria (CPE)
- Cemento Portland Compuesto (CPC)
- Cemento Portland Puzolánico (CPP)
- Cemento de Alto Horno (CAH)

Además, se pueden nombrar los cementos de usos especiales que nombra la Norma IRAM 50.001, en los cuales se encuentran:

- De Alta Resistencia Inicial (ARI)
- Altamente Resistente a los Sulfatos (ARS)
- Moderadamente Resistente a los Sulfatos (MRS)
- De Bajo Calor de Hidratación (BCH)
- Resistente a la Reacción Álcali-Agregado (RRAA)
- Blanco (B)

Se utilizó para este proyecto cemento categorizado de acuerdo a Norma IRAM 50.000 como CPC 30, la elección del mismo se basa en que es el cemento más común en el mercado en la zona donde se realizaran los mampuestos de perlita. El CPC 30 es Cemento Portland Compuesto (filler calcáreo + escoria granulada de alto horno) según Tabla 4.1,

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

con requisitos mecánicos de resistencia a la compresión para 28 días máxima 50 MPa,  
Tabla 4.2.

Tabla 4.1 Tipo de cemento y composición

Tipo de cemento	Nomenclatura	Composición (g/100g)			
		Clinker + sulfato de calcio	Puzolanas (P)	Escoria (E)	Filler Calcáreo (F)
Cemento Portland Compuesto	CPC	98-65	dos o más, con P + E + F ≤ 35		

Tabla 4.2 Requisitos mecánicos

Categoría	Resistencia a la compresión (MPa)				Método de ensayo
	2 días	7 días	28 días		
CPC 30	-	mín. 16	mín. 30	máx. 50	IRAM 1622

Los cementos CPC 30, para uso general, cumplirán con los requisitos físicos indicados en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Requisitos Físicos

Requisitos		unidad	Mín.	Máx.	Método de ensayo
Finura	Material retenido sobre el tamiz IRAM 75µm	g/100g	-	15	IRAM 1621
	Superficie específica	Promedio Individual	m <sup>2</sup> /kg	250 225	-
Constancia de volumen	Expansión en autoclave	%	-	1	IRAM 1620
Tiempo de fraguado	Inicial	mín.	45	-	IRAM 1619
	Final	horas	-	10	
Contracción de secado (*)	A los 28 días de la lectura inicial	%	-	0,15	IRAM 1651-2
Requerimiento de agua, por ciento por masa de cemento (**)		g/100g	-	64	

(\*) Solo se aplica para los cementos tipo CPP

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

(\*\*) Solo se aplica para los cementos tipo CPP y CPC

Requisitos químicos para los cementos CPC deben cumplir los valores de la Tabla 4.4:

Tabla 4.4 Requisitos químicos

Características	Requisitos	Unidad	Método de ensayo
Trióxido de azufre (máximo)	3,5	g/100g	IRAM 1504
Cloruros (máximo)	0,1		
Sulfuros (máximo)	0,5		

Anexo de resultados:

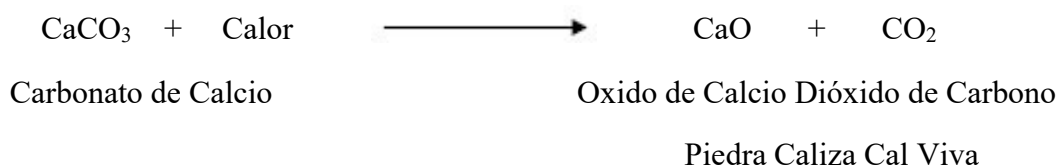
A fines de tener un conocimiento más extendido de las resistencias se realizó una muestra mínima de ladrillos con cemento CPC 40 para determinar sus características y tener un panorama más abierto de los resultados.

Los resultados obtenidos con un CPC 40 indican que el ladrillo tiene un 14% de aumento en su resistencia a compresión y un 100% de resistencia a flexión.

#### 4.2.2 Cal hidratada

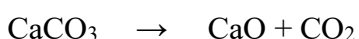
La cal hidratada utilizada proviene de la Localidad de La Merced, Provincia de Salta.

La cal es un elemento cáustico, blanco en estado puro, que proviene de la calcinación de la piedra caliza. La cal común es el óxido de calcio (CaO), también conocido como cal viva. Es un material utilizado en construcción y en otras actividades humanas. Como producto comercial, normalmente contiene también óxido de magnesio, óxido de silicio y pequeñas cantidades de óxido de aluminio y hierro. Las reacciones químicas que se producirán en la cocción de la cal son a 900°C, dependiendo del tipo de piedra caliza.



Existen dos tipos de Cal:

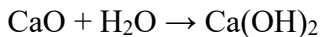
Cal viva (CaO): La cal viva es obtenida a partir de la calcinación de la piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>) por la siguiente reacción:



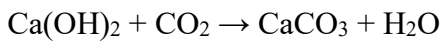


Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Cal apagada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ): La cal apagada se obtiene a partir de la cal viva haciendo una reacción con agua, esta reacción es exotérmica:



La fabricación de cales comprende dos procesos químicos: calcinación e hidratación, a las cuales van asociados las operaciones de transporte, trituración y pulverización de la caliza además de la separación por aire y el almacenamiento adecuado de la cal obtenida para evitar los procesos de re carbonatación:



Proceso de producción de cal

Debido a que la cal debe llenar determinados requerimientos físicos y químicos, se requieren calizas de alta pureza y de un proceso de producción controlado que aseguren un producto de excelente calidad. Seguidamente se detalla el proceso de elaboración de la cal hidratada.

1. Obtención de la piedra caliza: Comprende todos los procesos que se realizan en la cantera a partir de los cuales se obtiene la piedra caliza, materia prima de este proceso. Dichos procesos consisten en: a) Estudios geológicos mineros, en los que se obtiene la información geológica y geoquímica de las áreas a explotar. b) Extracción de la piedra caliza, que consiste en extraer la materia prima de las canteras.
2. Preparación de la piedra: Consiste machaqueo, con machacadoras de mandíbulas o en las trituraciones y tamizajes primarios y secundarios de la piedra caliza. Mediante dicho proceso, se logra dar a las piedras el diámetro requerido para el horno de calcinación.
3. Calcinación: La calcinación consiste en la aplicación de calor para la descomposición (reacción térmica) de la caliza. En este proceso se pierde cerca de la mitad de peso, por la descarbonatación o pérdida del dióxido de carbono de la caliza original. La calcinación es un proceso que requiere mucha energía para que la des carbonatación pueda ocurrir y es en este paso cuando la piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) se “convierte” en cal viva ( $\text{CaO}$ ). La calcinación se produce en hornos intermitentes de mampostería o ladrillo, o en hornos continuos (planta) que pueden ser verticales o rotatorios.
4. Hidratación: La hidratación de la cal es empleado para construcciones y otros numerosos procesos. Esta es obtenida añadiendo vapor o agua caliente a la cal viva. Las cales vivas puras reaccionan vigorosamente desprendiendo calor considerable, mientras que las cales impuras se hidratan lentamente, o solo después que los terrones son triturados. Comúnmente se producen tres formas de cal hidratada: a) Hidrato seco, un polvo fino seco formado añadiendo agua suficiente para apagar la cal, que es secada por el calor generado; b) Lechada de cal, hecha de cal viva apagada con agua en exceso y agitándola bien, formando una suspensión lechosa; c) Pasta de cal, una masa viscosa formada por el asentamiento de los sólidos de la lechada de cal.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

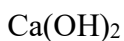
5. Separación: Consiste en separar de la cal hidratada los óxidos no hidratados (óxidos no hidratados como los de magnesio) y algunos carbonatos conocidos como “granaza” que no lograron ser hidratados en la etapa de hidratación.

6. Envasado / Empaque / Despacho: Finalmente, se procede al envasado del producto, el mismo se realiza por medio de una maquina especial de envasado y paletizado. La cal hidratada es empacada en bolsas de papel, o bien en cantidades en tolvas. Todos los procesos son completamente industriales. En los mismos se llevan a cabo estrictos controles de calidad que permiten alcanzar las normas requeridas para la fabricación de cal hidratada.

Descripción de la cal utilizada para la fabricación de mampuestos de perlitas:

La cal Hidratada o Hidróxido de Calcio, se obtiene como resultado del proceso de hidratación de la Cal Viva. A la Cal Viva se añade exactamente la cantidad necesaria de agua para que se realice la reacción de hidratación hasta el final. Es un polvo de color blanco que puede tener una ligera tonalidad crema, de alta finura y liviana.

Formula Química:



Presentación en sacos laminados de polipropileno de 25 kg.

Uso: En el encalado y desinfección de piscinas camaroneras. En el tratamiento de pozos sépticos y alcantarillas. Conjuntamente con Carbonato de calcio fino, en la neutralización de suelos agrícolas ácidos (como regulador y estabilizador de PH del suelo agrícola). Como desinfectante en las explotaciones avícolas, porcinas, cunícolas y otros (abonos orgánicos).

En la construcción se utiliza la dosificación en volumen: 1 cal + 3 arena + agua necesaria = pasta plástica para pegado de bloques, ladrillos, enlucidos.

Especificaciones Técnicas:

- Químicas:
- CaO total: 25.00 % - 40.00 %
- Ca (OH)<sub>2</sub> 33.00 % - 52.80 %
- Físicas:
- Humedad: Max.2 %
- Peso Volumétrico (densidad aparente): 0.68 g/cm<sup>3</sup>
- finura: mallas retenido malla #40 0.00 – 4.00 % malla #100 15.00 – 20.00 % malla #200 15.00 – 20.00 % PASANTE 70.00 – 66.00 %

Almacenamiento:

El producto debe almacenarse en lugar seco y aireado, en rumas trabadas sobre pallets de máximo 20 sacos de altura, para evitar derrumbes de las rumas y demasiada presión en las filas inferiores. El producto y el envase permanece inalterable hasta 3 meses de almacenado, pasado este tiempo el producto y especialmente el envase comienza a deteriorarse.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Precauciones:

La cal es un producto muy fino y cáustico, debe evitarse el contacto directo con la piel y especialmente con los ojos, no se debe ingerir.

Medidas de seguridad:

En el manipuleo del producto se debe usar implemento de seguridad personal: mascarillas para polvo fino, lentes, guantes de cuero, delantal apropiado.

En caso de contacto prolongado con la piel se debe lavar con agua y jabón y luego aplicar crema, para evitar su resecaimiento. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua y concurrir al médico. En caso de ingestión, acudir inmediatamente al médico

#### 4.2.3 Agua

Se utilizó agua de red que cumple con los requisitos establecidos en el reglamento CIRSOC 201 y en la norma IRAM 1601 (2012).

#### 4.2.4 Perlita

La perlita utilizada se obtuvo de un yacimiento de perlita en la cantera de Pava en el distrito de La Ramada, en la zona de San Antonio de los Cobres, departamento de Los Andes, oeste de la provincia de Salta, Argentina.

El tamaño de la perlita con el que se trabaja se encuentra entre los 150 y 75 micrones. La curva granulométrica se adjuntará en un capítulo posterior.

### 4.3 Mezcla y metodología

En este apartado se presentan los criterios de diseño de las mezclas, los materiales empleados y las dosificaciones realizadas.

En el diseño de las mezclas el criterio adoptado fue el resultado de la resistencia al esfuerzo de compresión. Se buscó la mayor resistencia con la mayor cantidad de perlita. Además, se prestó atención a la consistencia del mampuesto al momento de elaborarlo ya que se busca desmoldar la compactadora para continuar con la producción.

#### 4.3.1 Variables

Las variables en estudio son las proporciones en peso de los materiales secos (cemento, cal hidratada y perlita cruda). Además, la cantidad de agua en función de la cantidad de material seco.

#### 4.3.2 Dosificaciones

Las mezclas están compuestas de cemento y cal, de manera individual o conjunta, y en todos los casos de una gran cantidad de residuo de perlita sin procesar.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Al tratarse de un trabajo de investigación, las cantidades de cada componente se determinaron de manera experimental, siguiendo el trabajo de tesis de grado de Aramayo, Burgos y Fernández, siendo como principal parámetro la resistencia adquirida a los 28 días de maduración. También fueron determinantes el peso, la cohesión del material frente a desgastes en su superficie y su economía.

En total se probaron 10 tipos de dosificaciones, realizando como mínimo 10 unidades de cada uno.

Siempre que se cambiaba la cantidad de un componente, se mantenían constantes todas las demás para que de ese modo se puedan controlar los resultados obtenidos.

Primeramente, se ha comenzado con la utilización de cemento y perlita, con uno 30 y 70% respectivamente. Se varió la cantidad de agua únicamente hasta encontrar una consistencia adecuada para estos mampuestos, pero de consistencia seca de tal manera que permita su desmolde de manera instantánea luego de que haya sido compactado.

Luego a partir de estos dos materiales, se ha empezado a incorporar cal hidratada reemplazando un porcentaje del cemento.

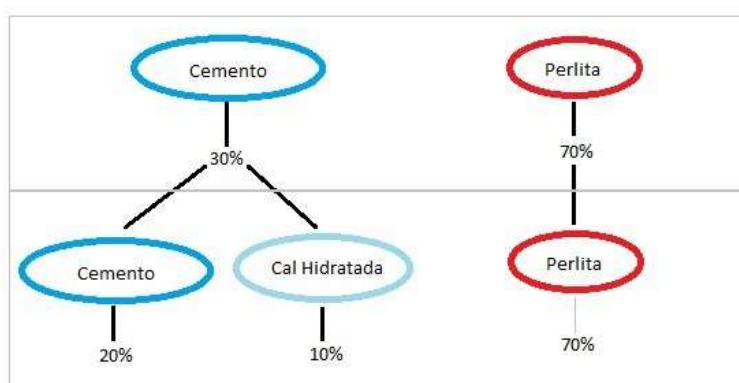


Figura 4.1 Ejemplificación de la metodología

Los porcentajes solo indican la cantidad de materiales secos, el agua sale de la relación agua – mezcla.

En un principio solo se utilizaron cemento y perlita en un 30% y un 70% respectivamente, manteniéndolo constante hasta determinar la cantidad necesaria de agua dando la relación agua – mezcla que se buscaba.

Una vez lograda esta primera parte, se mantuvo constante la proporción de agua y al 30% que ocupaba el cemento en la mezcla se lo dividió en 20% en cemento y un 10% de cal hidratada. La cantidad de perlita se mantuvo igual.

Luego se observó cómo respondían estas proporciones a la cantidad de agua, o si necesitaba ser corregida.

De esta manera se procedió en todas las dosificaciones realizadas.

Siempre se utilizaron materiales (cal, cemento) que se encontraban disponibles en el mercado local y al alcance de cualquier persona ya que la finalidad del trabajo es que sea un material de característica social, siendo por ahora lo único exclusivo, la adquisición

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

del residuo de perlita que es principalmente para los lugareños de San Antonio de los Cobres.

Tabla 4.5 Composición de las dosificaciones realizadas en porcentaje según peso

Código	Dosificación	Cantidad de cemento [%]	Cantidad de Cal [%]	Cantidad de Perlita [%]	Relación a/m	Tipo de cemento
1	10-90-0,26	10	-	90	0,26	CPC30
2	15-85-0,24	15	-	85	0,24	CPC30
3	20-80-0,24	20	-	80	0,24	CPC30
4	25-75-0,23	25	-	75	0,23	CPC30
5	30-70-0,23	30	-	70	0,23	CPC30
6	30-70-0,21	30	-	70	0,21	CPC30
7	40-60-0,22	-	40	60	0,22	CPC30
8	20-10-70-0,24	20	10	70	0,24	CPC30
9	20-10-70-0,26	20	10	70	0,26	CPC40
10	25-10-65-0,24	25	10	65	0,24	CPC30

#### 4.3.3 Procedimiento de mezclado

En un principio, las mezclas se realizaron en pequeña escala trabajando con la mezcladora Hobart y utilizando moldes metálicos de forma prismáticos de 4x4x16 cm normalizados. Para ello se siguió unas experiencias realizadas con el empleo de perlitas naturales en mezclas cementicias en un trabajo de México (Villicaña Cupa et al. 2013).

Para las secuencias de mezclado se tomó como referencia lo indicado en las Normas IRAM, siguiendo los siguientes procedimientos:

- 1º) Se mezclan los componentes en seco hasta obtener una mezcla homogénea exceptuando la perlita.
- 2º) Se agrega el agua y corresponde al tiempo cero.
- 3º) En los próximos treinta segundos se agrega la perlita.
- 4º) Pasado dos minutos a velocidad lenta desde el tiempo cero, se pasa a velocidad rápida durante un minuto.
- 5º) Se deja reposar durante 30 segundos mientras se raspa con espátula los bordes.
- 6º) Finalmente se deja a velocidad rápida durante un minuto y medio.

Esta primera etapa de preparación sirvió para encontrar la cantidad de agua que era necesaria para conseguir la consistencia buscada, es decir la relación agua-mezcla.

Luego se pasó a utilizar una mezcladora de 130 litros, la que se utiliza normalmente en una obra de construcción.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Se mezcló en seco todos los materiales hasta obtener una mezcla seca homogénea. Luego se agregaba el agua y en ese instante se tomaba como tiempo inicial.

La mezcla duraba 10 minutos aproximadamente.

También se puede realizar el mezclado de manera manual obteniendo el mismo resultado.



Figura 4.2 Mezclado manual de los materiales en seco

#### 4.3.4 Fabricación de los mampuestos

Durante meses se realizaron 10 dosificaciones de mezclas. De dichas dosificaciones y a partir de los ensayos de resistencia se seleccionó una dosificación a la cual se caracterizó en profundidad.

Los ladrillos macizos y los bloques huecos se desarrollaban de la misma manera inicialmente, con el mezclado de las proporciones. Luego del mezclado seguían dos tipos de compactaciones distintas.

Los ladrillos macizos fueron compactados con una CINVA-Ram, mientras que los bloques fueron compactados con una bloquera vibro compactadora.

##### 4.3.4.1 Descripción de la CINVA-Ram

La CINVA-Ram es una máquina de compactación manual y mecánica la cual se usa para la fabricación de mampuestos macizos. La ventaja que presenta este equipo es que no requiere de corriente eléctrica y su ejecución es sencilla.

La máquina consiste fundamentalmente en un molde metálico, dentro del cual la mezcla es compactada mediante un pistón accionado por un mecanismo de palanca. La compresión que se obtiene es suficiente para moldear un ladrillo. La máquina pesa aproximadamente 85 kg lo que permite un fácil transporte y desplazamiento entre 3 o más personas.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Por la simplicidad de las piezas que componen la máquina en caso de tener que efectuarse reparaciones, estas pueden ser realizadas por cualquier taller mecánico.

Para mayor estabilidad del conjunto la máquina se fija con bulones a un par de tablonces de 0,05 m, y 0,15 m x 3 m (espesor, ancho y largo respectivamente).



Figura 4.3 CINVA-Ram

#### 4.3.4.2 Fabricación de ladrillos macizos

Para la realización de la mezcla, se colocan en la hormigonera los materiales y se mezcla durante diez minutos en seco hasta obtener una mezcla homogénea de un solo color, luego se agrega el agua.

Por ejemplo, para preparar 50 kg de mezcla en la hormigonera para una dosificación 70-30-0,21 se colocarán:

- 35 kg de perlita
- 15 kg de cemento
- 10,5 kg de agua.

Una vez obtenida la mezcla, la cual tiende a ser arenosa y poco húmeda, se la coloca dentro del molde de la CINVA-Ram. Se aconseja tener en cuenta que el inicio de fragüe es a los 70 minutos aproximadamente. Por lo que se aconseja solo preparar 50 kg por máquina, o dependiendo de la cantidad de CINVA-Ram a usar.

Una vez colocada la mezcla dentro de la CINVA-Ram, una persona se coloca en un extremo y la otra en el otro extremo sobre un tablón de manera de equilibrar y evitar que se levante la máquina. La primera persona ejecuta una presión a través de una palanca movable, la cual a través de un émbolo compacta la máquina. Luego para desmoldar se utilizan planchas metálicas de mínimo espesor que no sean absorbentes y se coloca

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

encima del ladrillo, cumpliendo estas condiciones el ladrillo, puede ser colocado parado o de canto.

Luego de los 28 días el ladrillo adquiere la mayor de sus resistencias, pudiendo ser utilizado. Después de un día de fabricado puede ser manipulado sin sufrir roturas ni fisuras.

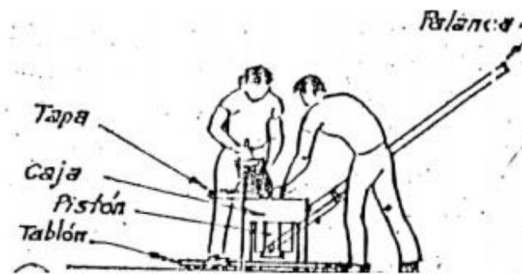
Las medidas del molde de la CINVA-Ram son de 0.20 x 0.29 x 0.20 m, esta última puede ser modificada de acuerdo a la altura que se desee obtener para el mampuesto, en este caso fue de 6 centímetros ya que esta medida se asimilaba a las medidas convencionales dando un elemento no tan alto y pesado ni tan bajo como para que se quiebre con facilidad.

La CINVA-Ram mencionada y tres operarios se puede tener una producción de hasta 50 ladrillos diarios. Existe una recopilación de información de cómo utilizar la compactadora realizada por Voluntarios En Asistencia Técnica, Inc. (1977).

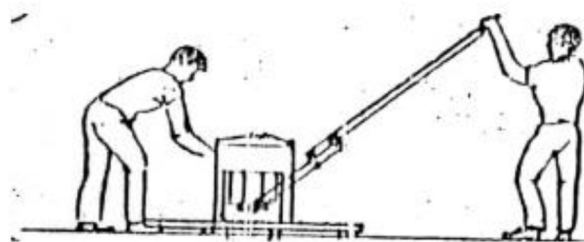
Se puede observar que en el mercado existen compactadoras que realizan hasta 6 ladrillos en una sola compactación.

Para la utilización de la CINVA-Ram, se procede de la siguiente manera:

- a) Se coloca la palanca en la posición que se indica en la figura y se abre la caja corriendo la tapa hacia atrás; la caja queda llena con la mezcla preparada.



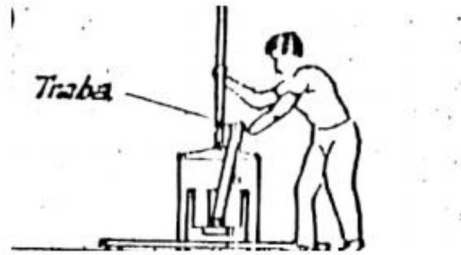
- b) Se cierra la caja haciendo correr la tapa hacia adelante eliminándose el excedente de material colocado.



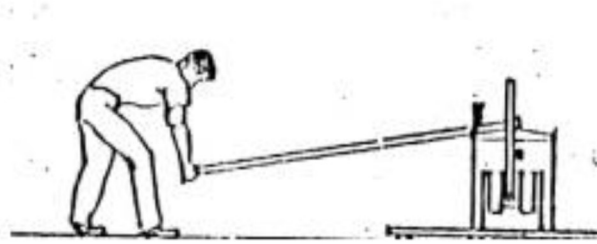
- c) Se levanta la palanca hasta apoyarla verticalmente en los descansos de la tapa y se levanta la traba, desconectando la biela inferior que está unida al pistón.



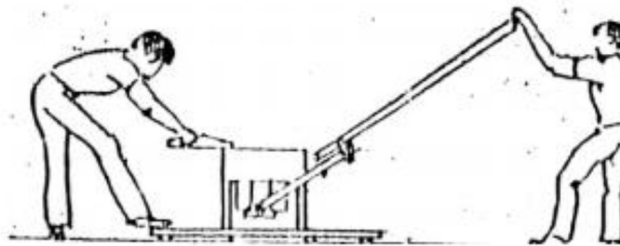
Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



d) Se baja la palanca hacia adelante hasta que quede horizontal y apoyada sobre el tope que tiene la tapa. Mediante este movimiento se comprime el material que forma el ladrillo.



e) Se vuelve a colocar la palanca en la posición inicial (1) y se abre la caja corriendo la tapa hacia atrás.



f) Se baja la palanca hasta que quede horizontal, dando lugar a que el pistón empuje la base de la caja hacia arriba, elevando el ladrillo fabricado; que puede ser retirado de inmediato, quedando la máquina en condiciones de iniciar las operaciones para la fabricación de otro ladrillo, previa la limpieza de la máquina en la forma indicada

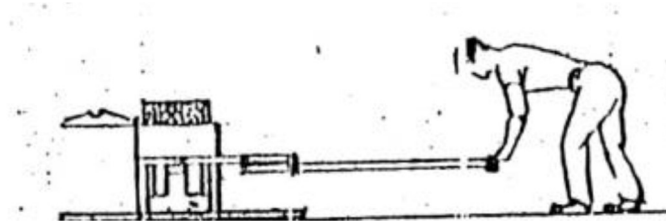


Figura 4.4 Distintos pasos en la CINVA-Ram

Luego, el empleo de los mampuestos macizos para la fabricación de viviendas sociales es puede realizar siguiendo el trabajo de diseño y análisis estructural de componentes constructivos con tierra cruda (Arias, Alderete, Mellace, Latina, Sosa, Ferreyra, 2006).

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

#### 4.3.4.3 Fabricación de bloques huecos

El mezclado de los materiales se realiza de la misma manera que para los ladrillos macizos. Una vez realizada la mezcla, esta se coloca en el interior de una bloquera vibro compactadora. Tiene el molde para la elaboración de dos bloques. Las medidas de los mismos son de 20x20x40 centímetros.



Figura 4.5 Bloquera vibro compactadora

#### 4.3.4.4 Curado de los mampuestos

Los mampuestos se depositaron bajo techo, en un ambiente fresco con corriente de aire natural y no expuesto a la intemperie. No se utilizó agua para curarlos ya que la localidad en donde tienen como finalidad ejecutarse, no cuenta con agua en todo su territorio.

De todas maneras, algunas muestras fueron curadas sumergiéndolas 28 días en agua para observar la variación de resistencia que existe entre ambas. No es aconsejable emplear los ladrillos antes de 28 días de fabricados.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura 4.8 Depósito de los mampuestos

#### 4.4 Metodología / Ensayos

##### 4.4.1 Geometría

La geometría del ladrillo macizo es de 20 x 29 x 6 cm corresponden a las medidas establecidas en el reglamento INPRES- CIRSOC 103 Tomo III:

- Se considera ladrillos macizos aquellos mampuestos cuya sección según cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tenga un área neta no menor que el 80% del área bruta correspondiente, no presenten agujeros cuyas secciones transversales según el mismo plano tengan un área individual mayor que el 4% del área bruta, y los espesores de sus paredes no sean menores que 2,5 cm.
- Los muros no resistentes son aquellos que, de acuerdo con las prescripciones del presente Reglamento, carecen de capacidad para resistir cargas contenidas en su plano. Estos muros, en ningún caso, podrán ser utilizados para la transmisión de cargas verticales y/u horizontales. Sin embargo, deberán poseer adecuada resistencia ante las acciones sísmicas perpendiculares a su plano, que derivan de su peso propio. Se incluyen en esta categoría todos aquellos muros que no cumplan con alguna de las condiciones establecidas en el artículo 7.4 del reglamento INPRES CIRSOC 103. En ella establece que para que un muro sea resistente la resistencia a compresión de los ladrillos debe ser como mínimo 4,5 MPa por lo que estos ladrillos no tienen la resistencia adecuada y por lo tanto no son portantes a pesar de contar con el espesor adecuado mayor a 17 cm.

La Norma IRAM 12585, es la que establece el método de ensayo de las características geométricas de los ladrillos y bloques cerámicos para la construcción.

Esta norma establece los métodos necesarios para determinar las características como:

- 1) Medidas
- 2) Falta de escuadría de las caras
- 3) Falta de planicidad (alabeo)

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Para ello en la misma establece definiciones de sus características físicas como, largo, ancho, alto, falta de planicidad, flecha relativa por concavidad, flecha relativa por convexidad.

Para realizar los ensayos se realiza el marcado de las probetas identificándolas con numeración y fechas de realización.

#### 1) Medidas

##### a) Ancho, largo y alto:

Para dicho ensayo se utilizan 10 ladrillos como mínimo seco, entero y sin rebarbas.

El instrumental utilizado es:

- Regla de acero, con una precisión al 0,5 mm
- Calibre, precisión al 0,2 mm

Se obtiene cada valor como promedio de las mediciones realizadas, una por vez en cada una de las 4 aristas correspondientes, con una precisión de 1 mm.

Estas mediciones se realizan a través del uso de un calibre y de una regla metálica.

#### 2) Falta de escuadría de las caras

En este procedimiento también se utilizan 10 ladrillos, secos y sin rebarbas.

El instrumental a utilizar es:

- Una placa de acero o de vidrio. De área igual o mayor a 50 cm x 50 cm. Cuya superficie no tenga diferencia de planicidad mayor que 0,05 mm.
- Escuadra metálica: provista de una base como mínimo en uno de sus brazos.
- Lámpara, de filamento de 100 w.
- Sonda de espesores, que permita leer 0,5 mm.

Para realizarlo, se apoya el ladrillo y la escuadra metálica con su base sobre la placa de vidrio en este caso, se desliza la escuadra metálica hasta que haga tope con la cara de la probeta en su parte media.

Se coloca la fuente luminosa detrás del ladrillo de forma tal que ilumine el encuentro entre la probeta y la escuadra y en su posición opuesta al observador.

Luego se observa a contraluz.

La falta de paso de la luz entre la probeta y la escuadra significa que no hay falta de escuadría. Si hay paso de luz, entre el ladrillo y el borde vertical de la escuadra, se mide la desviación al 0,5 mm introduciendo despacio sin presionar, la punta de la sonda de espesores. Este proceso se repite para cada una de las caras de la probeta.

Se calcula la falta de escuadría de cada cara de la probeta aplicando la fórmula:

$$fe = \frac{d}{l} \qquad \text{Ecuación 4.1}$$

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

fe: falta de escuadría en mm por cm.

d: máxima desviación de la cara medida en mm.

l: longitud de esa cara en cm.

#### 4.4.2 Alabeo

La concavidad y convexidad se miden con una regla y una cuña graduada, se expresan en mm.

#### 3) Falta de planicidad o alabeo

Se emplean también 10 ladrillos como mínimo enteros y sin rebarbas. Las rebarbas se limpian con una lija fina para evitar producir grietas en el ladrillo.

Para este ensayo se usa:

- Una regla de acero de borde recto, que tenga un largo mayor que la longitud de la diagonal del ladrillo.
- Cuñas de madera duras o metálicas. Dichas cuñas fueron fabricadas en el laboratorio de la Facultad con la ayuda de técnicos especializados, las cuñas se realizan según norma con sus medidas correspondientes. Estas cuñas deben permitir leer la distancia entre cualquier punto del plano inclinado, con una base de 10 mm de ancho, una altura de 10 y un ángulo de  $15^{\circ} \pm 1^{\circ}$  y que estén calibradas al mm.
- Placa de acero o de vidrio. Esta placa debe tener una área igual o mayor que 50 cm x 50 cm, cuya superficie no tenga diferencia de plano mayor que 0,05 mm.

Para determinar la flecha por concavidad, se apoya el ladrillo sobre la placa de vidrio en este caso. Se coloca el borde recto de la regla sobre la cara a medir en las direcciones paralelas a sus aristas o en dirección diagonal. Se introduce la cuña por debajo, seleccionando el punto de flecha máxima. Se registra su valor a 1mm.

Para el cálculo de la flecha relativa por concavidad se realiza según la fórmula:

$$fic = \frac{fc}{a} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

fic: es la flecha relativa por concavidad en milímetros por centímetros cuadrados.

fc: es la máxima flecha por concavidad medida en una cara, determinada según los incisos anteriores en milímetros

a: es el área de la superficie de la cara correspondiente a la concavidad, en centímetros cuadrados.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Para determinar la flecha por convexidad, se apoya el ladrillo con la cara a medir sobre la placa de vidrio. Se introducen cunas en sus cuatro vértices, se registraron los valores obtenidos al 1mm y se determina el promedio de las cuatro mediciones.

Se calcula de la siguiente manera:

$$frk = \frac{fk}{a} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde:

frk: la flecha relativa por convexidad, en milímetros por centímetros cuadrados

fk: la máxima flecha m por convexidad medida en una cara, determinada, en mm

a: es el área de la superficie de la cara correspondiente a la convexidad, en centímetros cuadrados.

#### 4.4.3 Resistencia a la compresión

La norma IRAM 12586, establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros.

Se aplica para ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros no así a los bloques especiales como bloque en U para dinteles y encadenados horizontales.

Máquina de ensayo a la compresión consiste en una prensa, cuyo elemento de aplicación de la carga (plato de compresión) tiene una rotula esférica convenientemente lubricada para asegurar el libre movimiento del plano de compresión en cualquier dirección, con el fin de poder acomodar las probetas cuyas superficies de apoyo no sean perfectamente paralelas.

Si los platos de compresión no abarcan la totalidad de la superficie de las probetas a ensayar se debe intercalar una o más placas de acero, de dureza Rockwell igual o mayor que 55 HRC, para mejorar la repartición de cargas sobre toda la cara de la probeta, de modo de asegurar una distribución de esfuerzos en las placas a 45°.

El espesor de las placas de acero debe ser igual o mayor que la distancia d.

El largo y ancho de las placas de acero deberán ser como mínimo 5mm mayores que las medidas correspondientes de las probetas.

Se ensayan como mínimo 10 ladrillos o bloques cerámicos enteros, secos y sin rebarras. En el caso de ladrillos cerámicos macizos se pueden emplear medias unidades de los citados elementos obtenidos por corte. Estas probetas se deben mantener como mínimo 24 horas al aire ambiente en el laboratorio.

Se determinan las medidas de cada una de las probetas (largo, ancho, alto) según la norma IRAM 12585 y se determina el área bruta de la probeta (A) que es la sección en donde se

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

aplica la carga y que corresponde al área encerrada por el menor cuadrilátero que circunscribe la probeta.

Se someten a compresión las caras de la probeta que respondan a la posición normal de su uso. En el caso que su uso normal posea dos o más posiciones, debe indicarse claramente la posición adoptada.

La probeta se dispone de modo que el baricentro de la cara que recibe la carga coincida con el baricentro del plato de compresión de la máquina de ensayo.

La carga se aplica gradual y perpendicularmente sobre las caras encabezadas de la probeta con un régimen de 6 MPa/min  $\pm$  2MPa/min hasta su rotura.

Se registra el valor de la carga máxima alcanzada (G).

Se calcula la resistencia a la compresión de la probeta mediante la fórmula.

$$\sigma = \frac{G}{A} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$\sigma$ : es la resistencia a la compresión de la probeta en MPa.

G: la carga máxima determinada

A: el área bruta aparente de cada probeta en mm<sup>2</sup>.

Luego se determina la resistencia característica a la compresión según la fórmula:

$$\sigma'k = \sigma'km - (1 - 1,14\gamma) \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Donde:

$\sigma'k$ : Es la resistencia característica a la compresión de la muestra en MPa.

1,4: es el valor del coeficiente de dispersión que corresponde a (n-10) para un nivel de confianza del 90%.

$\sigma'km$ : Es el promedio de las resistencias.

$$\sigma'km = \sum_1^n \frac{\sigma_i}{n} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sigma'km} \sqrt{\frac{\sum(\sigma'km - \sigma_i)^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

n: es el número de probetas ensayadas.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura 4.9 Prensa para realizar el ensayo a la compresión

#### 4.4.4 Resistencia a la flexión

La norma IRAM 12587 establece las pautas necesarias para realizar el ensayo a flexión:

El elemento de aplicación de la carga actuará a lo largo del plano de simetría en relación de los apoyos de la probeta. La vertical trazada por el centro de aplicación de la carga estará equidistante de los ejes de los apoyos metálicos.

La luz entre dicho eje será del 90% de la longitud nominal de cada probeta a ensayar.

Se ensayarán como mínimo 10 ladrillos o bloques cerámicos enteros, secos y sin rebarbas. Los mismos se mantendrán durante 24 horas al aire ambiente en el laboratorio.

Se coloca la probeta sobre los apoyos metálicos, intercalando entre cada una de las caras y los apoyos, una plaquita de madera neopreno, plomo, etc., de espesor aproximado de 5mm a los efectos de permitir un giro uniforme alrededor del borde de cada apoyo.

El método de ensayo establecido es aplicable en los casos en que se cumpla la relación siguiente:

$$\frac{\text{altura nominal del ladrillo}}{\text{longitud nominal del ladrillo}} < 1/4$$

Puede utilizarse cualquier máquina de las empleadas en laboratorio para ensayos a flexión, la misma debe cumplir los siguientes requisitos:



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

- Se debe someter las piezas a flexión según su posición normal de uso. En el caso de existir dos posiciones de uso se indicará claramente la posición adoptada.
- La carga debe aplicarse gradual y perpendicularmente sobre la cara con una velocidad máxima de carga de 900 da/min

Se calcula mediante la expresión siguiente:

$$MR = \frac{1}{10,204} * \frac{3}{2} * \frac{G*L}{b*d^2} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

MR: módulo de rotura individual a la flexión, en MPa.

G: la carga de rotura, en kilogramo fuerza.

L: es la distancia entre ejes de los apoyos, en centímetros.

10,204: es el coeficiente de homogeneización de unidades, para pasar de kg fuerza por cm cuadrado a MPa.

Luego con los resultados obtenidos se calcula el módulo de rotura característico a la flexión de la misma manera como se hizo en compresión.



Figura 4.10 Prensa para realiza el ensayo a la flexión

#### 4.4.4.1 Comparación de la resistencia del ladrillo en estado seco y húmedo en ladrillos

Se realizaron 10 ladrillos cuya dosificación estaba compuesta en peso de 70% de perlita residual, 10% de cal hidratada y 20% de cemento CPC30. La mitad de estos mampuestos se curaron en seco, dentro de una habitación sin contacto con el ambiente. Los otros se los sumergieron en un piletón de agua y se los retiró 24 horas antes de ser ensayados.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Se ensayaron en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Salta siguiendo las normas de resistencia a la compresión (norma IRAM 12586) y resistencia a la flexión (norma IRAM 12587). La edad de los mampuestos al momento del ensayo fue de 120 días.

#### 4.4.5 Absorción

En el ensayo de absorción se miden la absorción de la unidad sumergida en agua fría durante veinticuatro horas, la absorción máxima de la unidad que corresponde al hervido de la misma durante cinco horas y el coeficiente de saturación, que es la relación entre la absorción y la absorción máxima. Para efectuar el ensayo las unidades se secan, se pesan y se someten al tratamiento antes dicho, y luego de ello se vuelven a pesar. Se llama absorción y absorción máxima a la diferencia de peso entre la unidad mojada y la unidad seca expresada en porcentaje del peso de la unidad seca. El coeficiente de saturación es simplemente la relación entre esos dos porcentajes. La norma a consultar es la norma IRAM 12588.

El instrumental a utilizar es el siguiente:

- Balanza de capacidad adecuada: que permita pesar con una precisión de 0,025%.
- Baño de agua: que pueda contener los ladrillos totalmente sumergidos.
- Precisión de las pesadas: todas las pesadas se realizan con una precisión de 0,05%.

Se emplean como mínimo 10 ladrillos secos y sin rebarba.

El procedimiento es el siguiente:

Se secan las probetas en una estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas pesándolas a las 21 horas y 24 horas de sacada. Si la diferencia es menor que el 0,1% se dan por secadas. En caso contrario se continúa secando y pesando cada 3 h, hasta que la diferencia entre dos pesadas consecutivas sea menor que el límite señalado. La última pesada es la masa seca ( $m_s$ ).

Después de enfriadas al aire ambiente, se sumergen las probetas en agua, a la temperatura de laboratorio, hasta la mitad de su altura aproximadamente, colocándolas de canto.

Después de 2 horas, se eleva el nivel de agua hasta dos tercios de su altura y pasadas las 22 horas, se eleva el nivel de agua hasta aproximadamente 5 cm por encima de los ladrillos.

A las 24 horas de comenzar el ensayo se saca el agua de la probeta con paño y se pesa, obteniéndose la masa ( $m_e$ ) después de la absorción.

La capacidad de absorción de cada ladrillo o probeta se calcula:

$$A_i = \frac{(m_e - m_s)}{m_s} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Siendo:

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

A: la capacidad de absorción de agua en gramos por 100 g de masa seca.

ms: la masa del ladrillo seco, en gramos.

me: la masa del ladrillo después de la inmersión, en gramos.

Para determinar el valor característico de la capacidad de absorción de agua del conjunto se aplica:

$$Ak = Am * (1 - 1,81\gamma) \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Donde:

Ak: es el valor característico de la capacidad de absorción de agua del conjunto de ladrillos.

Am: es el valor medio del mismo.

1,81: es el valor del coeficiente de dispersión que corresponde a n=10 para un nivel de significación estadístico de 90%.

Donde:

$$Am = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

$$\gamma = \frac{1}{Am} \sqrt{\frac{\sum (Am - A_i)^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Ai: es la capacidad de absorción de agua de cada ladrillo

n:10 número de ladrillos ensayados.



Figura 4.11 Ensayo de absorción: Ladrillo sumergido

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

#### 4.4.5.1 Variación de absorción

El método empleado siguió la Norma IRAM 12588, que determina la capacidad de absorción de agua por inmersión en agua fría, en este caso, agua fría.

Se utilizaron 3 elementos de ladrillos de perlita de dos tandas distintas de fabricación. Los ladrillos de perlita de la primera tanda de elaboración llamados “LP1” y los de la segunda “LP2”. También se utilizaron dos ladrillos de cerámicos macizos para que sean usados de referencia.



Figura 4.12 Ladrillos de perlita y ladrillos cerámicos macizos

En primer lugar, se secaron todos los elementos en mufla hasta masa constante ( $m_s$ ). Luego se sumergieron en agua y cada determinado tiempo se los extraían para pesarlos ( $m_e$ ). Antes de pesar, con un trapo se secaban las superficies de los distintos ladrillos.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura 4.13 Mampuestos sin pintar



Figura 4.14 Mampuestos pintados

Se tomaron todos los pesos en distintos intervalos de tiempo para poder apreciar la variación de absorción en el tiempo.

Para la determinación de la absorción, se utilizó la fórmula que da la Norma IRAM 12588.

El mismo método se empleó también para los mampuestos pintados.

Estos mampuestos fueron pintados con un látex exterior de una marca común que se puede adquirir en cualquier corralón, siguiendo el justificativo social de elección de los materiales a utilizar.

Se pintaron los mismos ladrillos que se ensayaron sin pintar, luego de haberlos secado en mufla hasta masa constante. Se le dieron dos manos de pintura y se dejaron secar por tres días.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Los resultados de ambas situaciones no variaron considerablemente. Los mismos son expuestos en la Tabla 5.11 que se encuentra en el capítulo siguiente.

Se observó que, en promedio un ladrillo de perlita posee 31,33% mientras que el otro un 47,62%. Esta variación de porcentaje se debe principalmente a que cada ladrillo no recibe exactamente la misma presión de compactación, que depende exclusivamente del operario.

Esta variación también se pudo apreciar en los ladrillos cerámicos macizos.

Los valores de absorción en ladrillos de perlita se volvieron constantes a la semana de iniciado el experimento, mientras que los ladrillos cerámicos a los tres días.

Estos ladrillos de perlita fueron elaborados el 20 de septiembre del 2017, es decir que tienen una madurez de 265 días al momento de inicio del experimento.

Se desconoce la madurez del ladrillo cerámico macizo.

#### 4.4.6 Succión capilar

La succión es la medida de la avidez de agua de la unidad de albañilería en la cara de asiento y es la característica fundamental para definir la relación mortero-unidad en la interface de contacto y, por lo tanto, la resistencia a tracción de la albañilería.

Está demostrado que con unidades que tienen una succión excesiva al momento del asentado no se logra usando métodos ordinarios de construcción, uniones adecuadas con el mortero. Cuando la succión es muy alta, el mortero, debido a la rápida pérdida del agua que es absorbida por la unidad, se deforma y endurece, lo que impide un contacto completo e íntimo con la cara de la siguiente unidad. El resultado es una adhesión pobre e incompleta, dejando uniones de baja resistencia y permeables al agua.

Se considera que para succiones mayores de 40 gramos por minuto en un área de 200 cm<sup>2</sup>, es requisito indispensable del proceso constructivo que las unidades se humedezcan, siguiendo técnicas adecuadas, para modificar la succión de asentado.

La norma a consultar es la norma IRAM 12589, que se refiere a la capacidad de succión de ladrillos.

Instrumental a utilizar:

- Estufa, con libre circulación de aire, regulable a 105 °C±5°C.
- Balanza que permitirá pesar con una aproximación de 0,1%.
- Recipiente de fondo plano con un dispositivo que permite mantener constante el nivel de agua.

Se utilizarán para este ensayo 10 ladrillos como mínimo, enteros y sin rebarba.

Los ladrillos se secan en una estufa con circulación de aire a una temperatura de 105°C ±5°C, durante un tiempo no inferior a 24 horas y hasta que dos pesadas, efectuadas a

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

intervalos de 2 horas, de un incremento en la pérdida de masa no superior a 0,1% con relación a la última masa determinada del ladrillo. Esta última es una masa seca.

El procedimiento es el siguiente:

Se miden las dimensiones de la cara a ensayar de la probeta para determinar su superficie A, en centímetros cuadrados. La cara a ensayar en ladrillos es la prevista para revestir, de mayor dimensión. Esta cara debe estar en contacto con el agua.

Se coloca agua en el recipiente, de modo que quede a un nivel de 3mm constante sobre la parte superior de los apoyos, una vez colocado el ladrillo.

Se coloca el ladrillo de plano sobre los apoyos durante 1 minuto, manteniendo constante el nivel de agua, añadiendo la que absorba la probeta. Al cabo de este tiempo se seca el ladrillo con un paño, dentro de los diez segundos después de retirado del agua.

Se pesa el ladrillo, dentro de los 2 minutos de retirado del agua, obteniéndose la masa (mo) que es la masa del ladrillo después de la exposición.

Este ensayo emplea testigos secados al horno cuando se trata de ensayos de investigación; y unidades en su estado natural cuando se trata de ensayos para evaluar la succión para un proceso constructivo.

La capacidad de succión capilar de cada ladrillo o probeta se calcula:

$$\phi_i = \frac{(m_o - m_s)}{m_s} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$\phi_i$ : es la capacidad de succión del ladrillo.

$m_s$ : es la masa del ladrillo antes del ensayo, (peso seco)

$m_o$ : la masa del ladrillo después del ensayo, en gramos.

A: es el área, en centímetros cuadrados.

Con los resultados de las determinaciones, obtenidas para cada ladrillo, se calcula la succión característica (Ok) de la muestra ensayada mediante la expresión siguiente:

$$\phi_k = \phi_m * (1 - 1,81\gamma) \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$\phi_k$ : es la succión característica del conjunto de probetas.

$\phi_m$ : es la succión media

1,81: es el coeficiente que corresponde a 10 ladrillos, para observar un nivel de significación estadística del 90%.

donde:

$$\phi_m = \sum_1^n \frac{\phi_i}{n} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$\gamma = \frac{1}{\phi_m} \sqrt{\frac{\sum(\phi_m - \phi_i)^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

#### 4.4.7 Conductividad térmica

Los ensayos de la conductividad térmica se realizaron en el CINTEMAC, perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional Regional Córdoba (UTN), donde facilitaron el equipo para dicho ensayo.

Para el mismo se debieron preparar unas placas ya que las dimensiones de los mampuestos no entraban en el aparato.

Las placas eran cuadradas de 30x30 centímetros con un espesor aproximado de 4,5 centímetros. Por lo tanto, en el laboratorio de la UNSa se elaboró un molde para poder obtener las muestras con las medidas necesarias

Se preparó cada dosificación de la misma manera que cuando se realizaban los mampuestos. Se llenaba en dos capas y se realizaban 25 golpes por cada capa siguiendo las recomendaciones de la UTN.

Se trató de que la compactación sea similar a la de los ladrillos. Para verificar esto, se compararon las densidades de ambas.

Una vez trasladados las muestras hacia la ciudad de Córdoba, se siguieron el siguiente instructivo para el ensayo:

1. Colocar la probeta dentro del equipo verificando que la misma quede centrada y con la superficie más lisa hacia arriba.
2. Bajar la tapa del equipo cerciorándose quede bien cerrado.
3. Encender el equipo y apretar "START". En este momento se enciende la pantalla azul y muestras algunos datos. En caso de que no exista probeta, en la pantalla se advertirá la ausencia de una y si el equipo no está bien cerrado también arroja error.
4. Verificar que el líquido refrigerante recircule por una de las mangueras conectadas al bidón.

5. En la pantalla se ven los siguientes datos:

$T^{\circ}$  Fría –  $T^{\circ}$  Caliente – DT – Resistencia – Valor de  $\lambda$

El DT (diferencia entre la temperatura fría y caliente) es el que indicará cuando el ensayo está finalizando. Cuando el valor del DT no difiera en un rango de tiempo de 20 min, el ensayo estaría llegando a su fin.

6. El ensayo finaliza cuando en la pantalla se visualiza un valor de  $\lambda$  en (W/ms.) mientras el ensayo no haya finalizado este valor es igual a cero.

7. Una vez obtenido el valor de  $\lambda$  se conecta el USB a la notebook para crear el informe.

Observaciones: mientras más aislante es el material, mayor va ser el tiempo de medición. La medición de los hormigones convencionales ronda alrededor de 5 horas y las probetas de caucho entre 7 y 8 horas.



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

No conviene realizar mediciones sucesivas, en caso de ser necesario esperar al menos 2 horas para que el equipo se enfríe.



Figura 4.15 Equipo para determinar la conductividad térmica

#### 4.4.8 Pilas de ladrillos macizos

Para ensayos de compresión se aplica carga coplanar perpendicular a la hilada. Es evidente que esta orientación es prioritaria, pues corresponde a la de la acción gravitacional en muros con hiladas horizontales, que son los predominantes. De otro lado, el valor obtenido es útil para analizar el comportamiento de muros de corte ante la acción conjunta de las cargas de gravedad y las acciones sísmicas, situación en la que se presentan elevados esfuerzos de compresión, esencialmente verticales en los talones comprimidos.

El método para determinar la resistencia básica a la compresión de la mampostería está prácticamente estandarizado a nivel mundial y consiste en un prisma de unidades asentadas una sobre otra.

Los prismas se construyen si son para investigación, de acuerdo a los objetivos del programa de ensayo. Si son para control de obra se construye con el mampuesto y el mortero a emplearse, utilizando el espesor de la junta, la técnica constructiva y la mano de obra representativa.

La esbeltez y la altura mínima de los prismas dependen si la mampostería es de ladrillos o bloques. En este caso la relación alto ancho del prisma estará entre 2 y 5 y el alto no será menor de 35 cm. Debe haber alejada del efecto restrictivo del cabezal de la máquina de ensayo por lo menos una junta.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

Los prismas no se curan, solo se protegen con una tela húmeda durante 24hs y luego se colocan bajo techo hasta que son ensayados, estos ensayos se realizan a los 28 días, pero pueden hacerse antes.

El ensayo se realiza en una máquina universal de compresión, aplicando un ritmo de carga controlado hasta que el espécimen no admite más carga. El resultado del ensayo se obtiene de dividir esta carga última entre el área del testigo. Esta área será la bruta para prismas de unidades sólidas de unidades huecas rellenas con concreto líquido o de unidades tubulares. El área será la neta para unidades huecas o perforadas. La prueba consistirá en por lo menos dos ensayos y preferibles tres.

La norma a consultar es la norma IRAM 12737, que establece el método para determinar la resistencia a la compresión de muros mediante el ensayo de pilas de mampostería.

La resistencia característica a compresión se determina mediante la expresión:

$$\sigma_{km} = A * \sigma_{mm}(1 - 1,8\gamma) \quad \text{Ecuación 4.17}$$

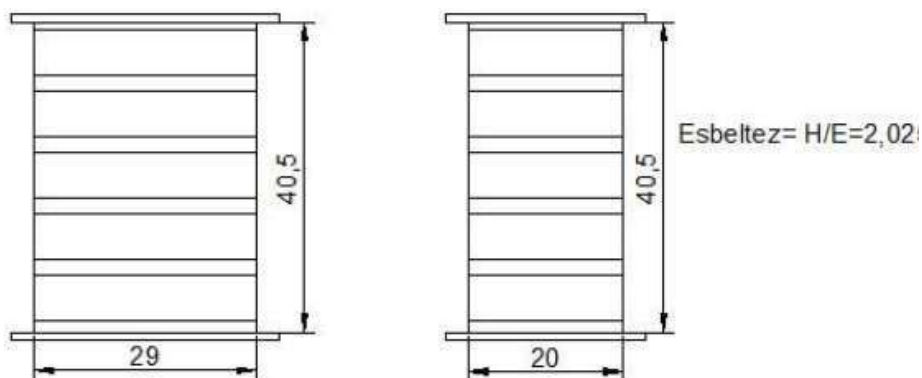
$\sigma_{mm}$ : promedio de resistencias determinadas mediante los ensayos

$\delta$ : desviación estándar relativa  $\leq 0.12$

A: factor de corrección en función de la esbeltez, según la tabla:

Tabla 4.6 Factor de corrección en función de la esbeltez

Esbeltez	2,5	3	3,5	4	4,5	5
A	0,83	0,90	0,95	1,00	1,02	1,05



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura 4.16 Pilas de ladrillos macizo de perlita

#### 4.4.9 Muretes

Debe observarse que el ensayo sobre pilas no considera la presencia de juntas verticales. A fin de tenerlas en cuenta, la alternativa es realizar ensayos sobre muretes.

##### 4.4.9.1 Estudio sobre la adherencia entre mortero y mampostería

Diferentes ensayos e investigaciones han demostrado que la adhesión del mortero con la unidad de albañilería es de naturaleza mecánica. Cuando el mortero entra en contacto con la unidad de albañilería esta succiona agua de él. Como el agua contiene solubles del cemento, estos son introducidos en el proceso de succión del agua en los poros capilares de la unidad de albañilería, y al cristalizar forman el engrape mecánico que es la base de la adhesión entre el mortero y la unidad de albañilería. Diferentes investigaciones de la interface de contacto ente el mortero y la unidad de albañilería han identificado a la ettringita, uno de los productos de la hidratación del cemento no sujeto a reacciones puzolánicas, como la sustancia que forma, en los poros de la unidad, cristales hexagonales en forma de aguja, con un diámetro de 0,05 micrones.

Evidentemente, dada la naturaleza de la adhesión esta será incrementada tanto por el aumento de la rugosidad superficial en la cara de asiento de la unidad como por la presencia de alveolos o cavidades en la misma cara donde puede introducirse, aunque sea superficialmente el mortero.

En la práctica, el proceso de adhesión es más complejo. En la Figura 4.17 se muestra, a nivel de imitación como ocurre la mecánica de adhesión en la realidad de una obra. Se puede notar que la unidad inferior tiene, por la naturaleza misma del proceso una mayor

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

adhesión con el mortero que la superior. Esto es también notorio en la práctica donde la falla en tracción ocurre prácticamente siempre en la interface superior del mortero.

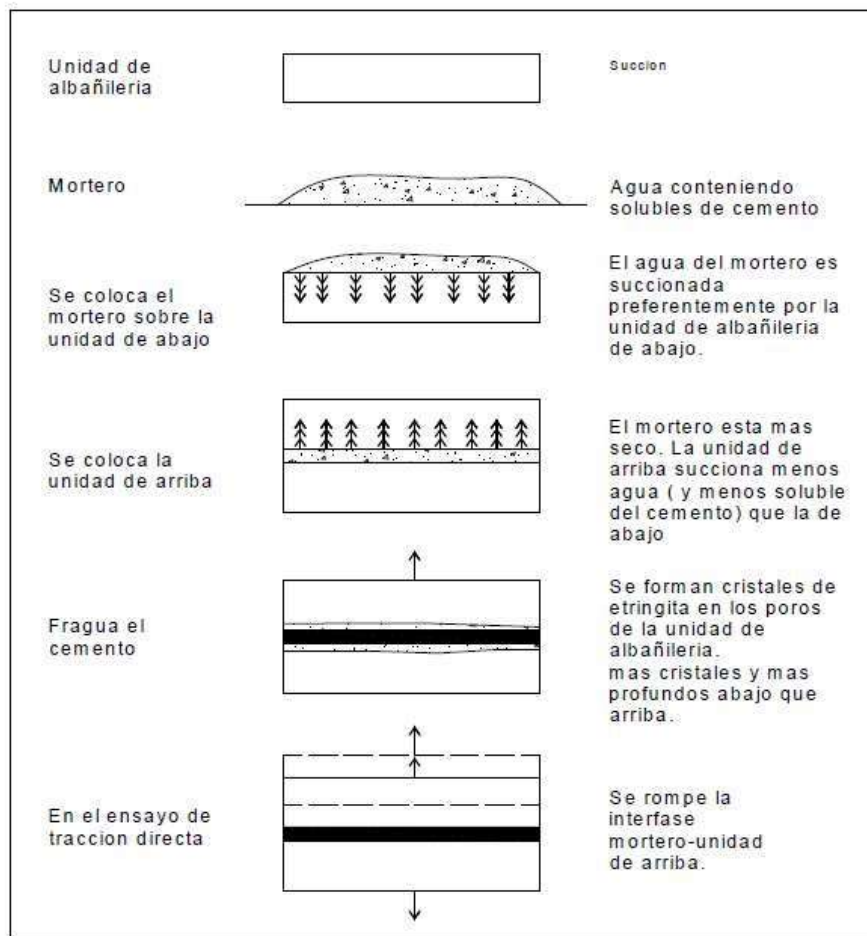


Figura 4.17 Proceso de adhesión entre mampuesto y mortero

La magnitud del valor unitario de la adhesión es medible, entre otras formas mediante un ensayo de tracción directa en dos ladrillos pegados con mortero. En este ensayo se rompe una de la interfaz mortero-unidad de albañilería, generalmente la interfaz superior (la del ladrillo colocado al último), por ser la más débil y este menor valor es el valor medido.

La magnitud de adhesión obtenida depende de la uniformidad de la formación de cristales de ettringita en las dos interfaces, debido a la succión de la unidad de albañilería, la tendencia normal es a beneficiar con mayor densidad y profundidad de incrustación a la interfaz inferior del mortero, en cambio cuando la succión de la unidad en el momento del asentado es elevada la diferencia de resistencia entre interface es sustantiva.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura 4.18 Murete de ladrillos de perlita ensayado a tracción

Para minimizar este efecto y aumentar así la adhesión real y la adhesión medida, se requiere utilizar uno o más de los siguientes procedimientos:

- a- Proveer juntas de morteros gruesas, de modo tal que el retiro de agua por la unidad de abajo no alcance afectar la disponible para la de arriba, la consecuencia de esto es la reducción sustancial de la resistencia a la compresión de albañilería.
- b- Reducir la succión en el momento del asentado en la unidad de albañilería cuando esta succión es elevada. Esto implica humedecer la unidad de albañilería, incorporando un factor más de variabilidad difícilmente controlable.
- c- Aumentar la consistencia del mortero, esto equivale a aumentar la cantidad de agua en el mismo.
- d- Aumentar la retentividad del mortero, este aumento se logra añadiendo la proporción del ingrediente cal en la dosificación del mortero.

Estas diferentes posibilidades tienen virtudes, vicios y limitaciones. En resumen, la adhesión mortero-unidad es de naturaleza mecánica y no molecular o electrostática, y depende del contenido de cemento, cal y agua en la junta del mortero, de la succión de la unidad de albañilería y de la capacidad de los poros capilares de albergar los cristales de ettringita.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

#### 4.4.9.2 Ensayo sobre la adherencia

La adhesión no es una propiedad absoluta del mortero, sino que se mide con la relación de una determinada unidad de albañilería. El ensayo puede hacerse por tracción directa o por flexión, siendo más usual el ensayo por tracción directa. Con este propósito se forman testigos de dos unidades asentadas con el mortero, los que se ensayan usualmente a los 28 días, aplicando una fuerza de tracción directa perpendicular a la cara de asiento en una maquina universal. Se llama adhesión al valor unitario obtenido de dividir la fuerza de rotura entre el área nominal de contacto.

Se puede utilizar una máquina para ensayo a tracción o una máquina para ensayo a compresión, de ello dependerá la preparación de los testigos. En Australia se emplea un ensayo de campo y es lo que realizaron los autores del presente informe, para medir la adhesión utilizando una palanca, similar al ensayo de palanca del laboratorio. Este ensayo permite controlar, por comparación de resultados, la uniformidad del trabajo de asentado y si se calibra con ensayos de laboratorio el valor conocido puede servir para medir valores absolutos de adhesión.

Para ello se arma un trípode con una palanca cuyo brazo puede deslizarse y en uno de sus extremos posee una grapa metálica para abrazar al ladrillo y en el otro un balde donde se añade arena pasante del tamiz 100, el peso de la arena da la medida de la adhesión. En la siguiente figura se puede observar lo descrito anteriormente. Dichos elementos fueron armados en el laboratorio de la UNSa, con la colaboración de los técnicos de laboratorio, como se presenta en la Figura 4.19.

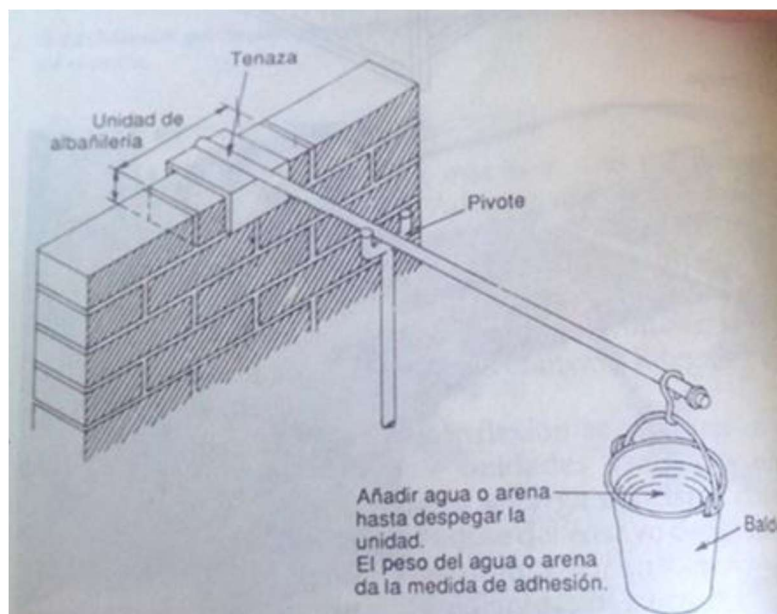


Figura 4.19 Murete de ladrillos de perlita ensayado a tracción Gallegos, H. (1993)

Una vez terminado el instrumento para medir la adhesión, se procede de la siguiente manera:

- 1- Se atornilla el pivote al suelo fijando con taco Fisher.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

- 2- Con la tenaza o grapa metálica se abraza el ladrillo central ajustándolo a través de tornillos.
- 3- Se coloca una pantalla para medir los ángulos de inclinación de la palanca, para saber este ángulo se utiliza un láser que apunta a la palanca y dicha pantalla.
- 4- Se usa arena tamizada pasante del tamiz N° 100 para poder controlar el continuo volcado en el balde de medición.

## Capítulo 5:

### Resultados y discusión

El capítulo reúne los resultados obtenidos en el trabajo experimental. Se presentan los resultados de la caracterización de la perlita, los resultados correspondientes a la mezcla de los mampuestos en estado fresco, los resultados de los ensayos empleados en la determinación de las propiedades mecánicas del mampuesto: resistencia a compresión y resistencia a la flexión, y los resultados de los ensayos que se consideran indicadores de parámetros de durabilidad, tales como absorción y succión capilar. Se analiza los resultados obtenidos y se discuten los mismos comparándolos con los adobes de arcilla. Además de un breve análisis de costos de los materiales.





Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

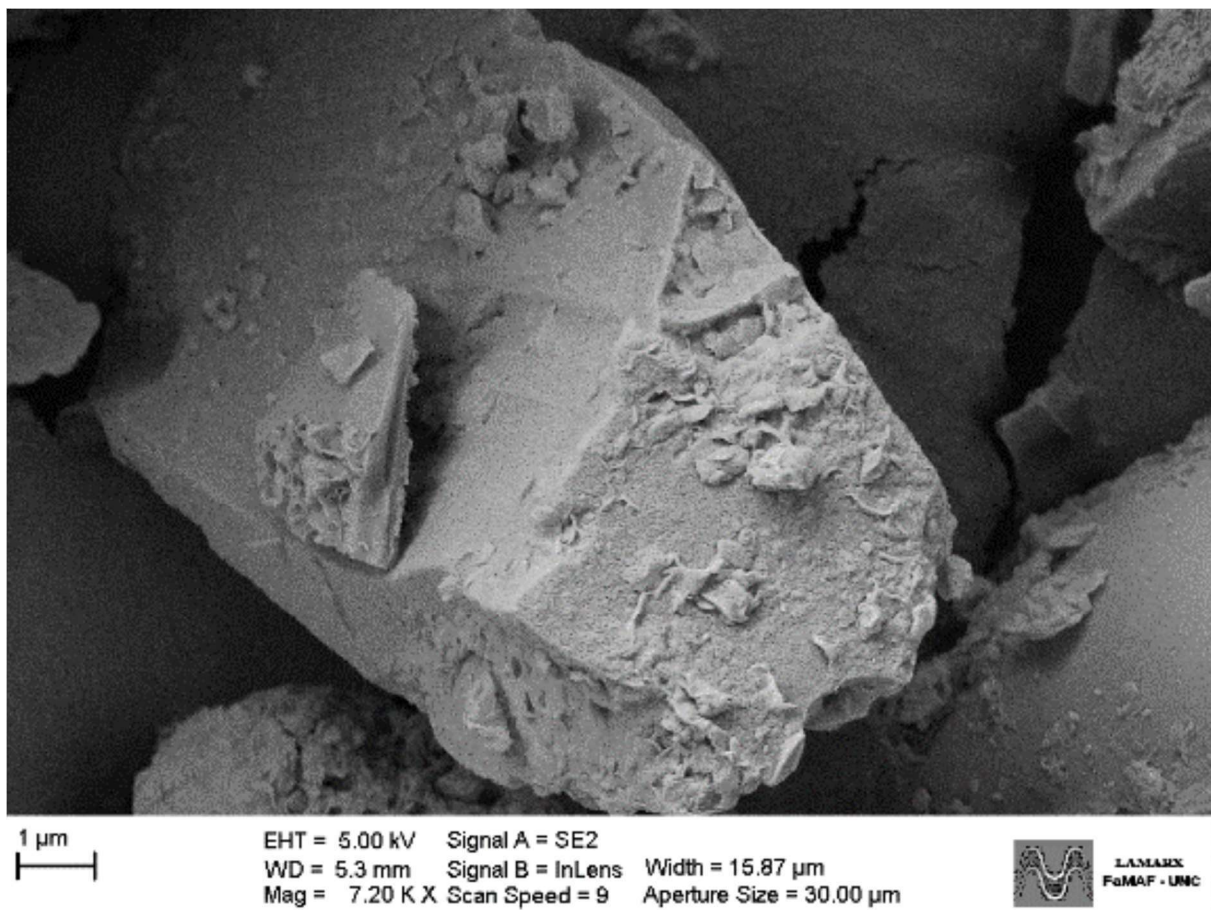


Figura 5.2 Imágenes SEM de perlita

Tabla 5.1 Composición química de la perlita bruta

Elemento	Concentración Aparente	Radio K	Wt%	Wt% Sigma	Etiqueta Standard
O	17,63	0,05933	37,34	0,39	SiO <sub>2</sub>
Na	0,73	0,00307	1,15	0,07	Albita
Mg	0,13	0,00089	0,22	0,04	MgO
Al	3,37	0,02423	4,52	0,07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Si	15,47	0,12255	19,91	0,11	SiO <sub>2</sub>
K	2,4	0,02031	2,83	0,06	KBr
Ca	0,29	0,00261	0,34	0,04	Wollastonita
Fe	0,77	0,00768	0,95	0,09	Fe
Cu	1,18	0,0182	1,51	0,14	Cu

Para la determinación del peso específico de la perlita cruda se utilizó la norma de Vialidad Nacional VN-E25-68 “PESO ESPECÍFICO APARENTE DE SUELOS FINOS”.

La muestra de perlita utilizada fue un terrón extraído directamente de la cantera “Pava” en las proximidades de la localidad de San Antonio de los Cobres.



Figura 5.3 Terrón de perlita cruda

Luego de moler, se pasó la muestra por el tamiz IRAM 425 micrómetros (N° 40) que será la utilizada en este ensayo.

A continuación, se detalla la realización del ensayo:

1. Se pesó el matraz totalmente seco, obteniendo el peso (a)
2. Se agregaron 10gr de perlita cruda, se pesan en conjunto obteniendo el peso (b)
3. Se enrasó el matraz con agua destilada obteniendo el peso (c)
4. Finalmente se pesó solamente el matraz con agua destilada

Para los cálculos se emplean las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso muestra: } P = \frac{100(b-a)}{100+H} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde H es la humedad de la muestra en el momento del ensayo, resultando la misma prácticamente nula.

$$\text{Peso específico} = \frac{P}{(P+d-c)d_a} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde  $d_a$  es la densidad del agua en función de la temperatura de la misma. Esta temperatura fue de 20.4°C por lo tanto  $d_a$  fue de 0.99823.

El ensayo se realizó dos veces para verificar la repetitividad. Los resultados se muestran en la Tabla 5.2:

Tabla 5.2 Peso específico de la Perlita cruda

Muestra	(a) [gr]	(b) [gr]	(c) [gr]	(d) [gr]	P [gr]	Peso específico [gr/cm <sup>3</sup> ]
Perlita 1	44.10	54.10	82.75	77.26	10	2.22
Perlita 2	44.15	54.16	82.73	77.19	10.01	2.24

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

La variación de los resultados es menor al 2%.

Se puede afirmar que el peso específico de la perlita cruda es de 2.23 g/cm<sup>3</sup>.

#### Distribución Granulométrica

La fracción fina de la muestra de perlita corresponde a partículas que pasan el tamiz N° 100 ( $\emptyset \leq 75 \mu\text{m}$ ), se evaluaron mediante un analizador de distribución del tamaño de partículas por difracción láser.

Los resultados de las muestras de perlita cruda se reflejan en las Tablas 5.3 y 5.4, además de las Figuras 5.4

Tabla 5.3 Muestras para difracción laser

Nombre de la muestra	Nº de medición	Tamaño			Porcentaje de acumulación	
		Media	Moda	Mediana	10%	90%
Perlita molida - a	1	36,319	12,424	18,087	8,064	92,271
Perlita molida - b	2	33,842	12,391	16,592	7,735	86,316

Tabla 5.4 Distribución por tamaño de las partículas

Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	Perlita molida - a		Perlita molida - b		promedio	
	q%	Undersize (%)	q%	Undersize (%)	q(%)	Undersize (%)
2,976	0	0	0	0	0,000	0,000
3,409	0,167	0,167	0,142	0,142	0,155	0,155
3,905	0,307	0,473	0,259	0,4	0,283	0,437
4,472	0,547	1,021	0,46	0,86	0,504	0,941
5,122	0,948	1,969	0,798	1,658	0,873	1,814
5,867	1,585	3,553	1,346	3,004	1,466	3,279
6,720	2,518	6,072	2,167	5,172	2,343	5,622
7,697	3,741	9,812	3,269	8,44	3,505	9,126
8,816	5,116	14,928	4,546	12,986	4,831	13,957
10,097	6,489	21,417	5,874	18,86	6,182	20,139
11,565	7,786	29,203	7,196	26,056	7,491	27,630
13,246	8,319	37,522	7,848	33,905	8,084	35,714
15,172	7,929	45,451	7,637	41,541	7,783	43,496
17,377	6,898	52,35	6,781	48,322	6,840	50,336
19,904	5,678	58,027	5,688	54,01	5,683	56,019
22,797	4,596	62,624	4,682	58,691	4,639	60,658
26,111	3,786	66,409	3,907	62,599	3,847	64,504
29,907	3,242	69,651	3,382	65,981	3,312	67,816
34,255	2,901	72,552	3,059	69,039	2,980	70,796
39,234	2,715	75,267	2,902	71,941	2,809	73,604
44,938	2,657	77,924	2,895	74,836	2,776	76,380
51,471	2,631	80,554	2,927	77,763	2,779	79,159
58,953	2,607	83,162	2,964	80,728	2,786	81,945
67,523	2,561	85,722	2,967	83,694	2,764	84,708
77,340	2,443	88,166	2,878	86,573	2,661	87,370

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

88,583	2,268	90,433	2,704	89,276	2,486	89,855
101,460	2,023	92,456	2,407	91,684	2,215	92,070
116,210	1,741	94,197	2,035	93,719	1,888	93,958
133,103	1,521	95,718	1,768	95,486	1,645	95,602
152,453	1,326	97,043	1,514	97	1,420	97,022
174,616	1,111	98,154	1,221	98,221	1,166	98,188
200,000	0,867	99,021	0,897	99,118	0,882	99,070
229,075	0,608	99,629	0,574	99,692	0,591	99,661
262,376	0,371	100	0,308	100	0,340	100,000
300,518	0	100	0	100	0,000	100,000

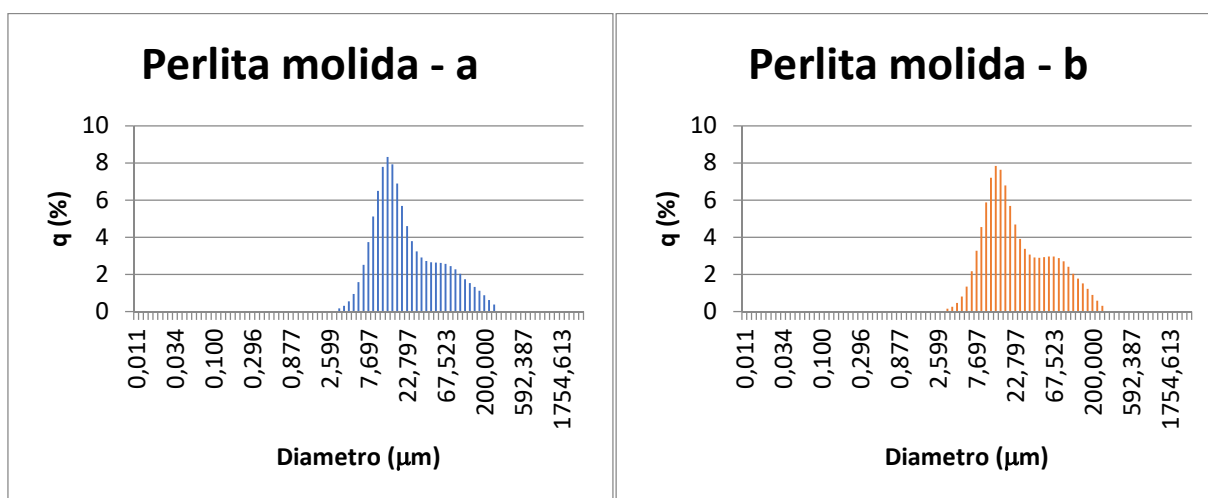


Figura 5.4 Distribución de tamaño de perlita cruda

Se observa que, en ambas muestras de perlita cruda, más del 20% de las partículas son menores a los 10 micrones de longitud, lo que según la OMS pueden penetrar y alojarse profundamente en los pulmones. Por otro lado, no se detectan partículas menores a los 2,5 micrones, que resultan más dañinas para la salud ya que pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo.

De todas maneras, el desecho de perlita cruda se encuentra acopiado en proximidades de la localidad de San Antonio de los Cobres, sumado a los intensos vientos esto constituye un riesgo de salud para los pobladores.

De acuerdo a la ley 19587 y el decreto 351 de higiene y seguridad para las partículas de 10 micrones, es inhalable el 77% de la masa de partículas.

Determinación de Sulfato. Solubilidad en agua y ácido clorhídrico concentrado

Se empleó el método gravimétrico y se obtuvieron los resultados expuestos en la Tabla 5.4, además de los valores de solubilidad en agua y en ácido clorhídrico.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Tabla 5.4 Sulfatos, solubilidad en agua y en CIH (c)

Determinación	Muestra
Humedad, %	0,219
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , %	< 0,05
Solubilidad en H <sub>2</sub> O, %	0,212
Solubilidad en CIH (c), %	0,22

- SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, %: gramos / 100 gramos de muestra seca
- Solubilidad, %: gramos / 100 ml de solvente
- Humedad: gramos / 100 gramos de muestra seca
- Técnica utilizada para la determinación de SO<sub>4</sub><sup>=</sup> es Gravimetría.

Las dos consecuencias del ataque por sulfatos sobre los componentes del hormigón mejor conocidas son la formación de ettringita (aluminato de calcio trisulfato 32-hidratado,  $\text{CAO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) y yeso (sulfato de calcio dihidratado,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). La formación de ettringita puede generar un aumento del volumen sólido, provocando expansión y fisuración. La formación de yeso puede provocar ablandamiento y pérdida de resistencia del hormigón. Sin embargo, la presencia de ettringita o yeso en el hormigón no constituye por sí misma una indicación de ataque por sulfatos; la evidencia de un ataque por sulfatos se debería verificar mediante análisis químicos y petrográficos. Si la solución de sulfatos que provoca el ataque contiene sulfato de magnesio, además de ettringita y yeso se produce brucita ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , hidróxido de magnesio). Algunos de los procesos relacionados con los sulfatos pueden dañar al hormigón incluso sin expansión. Por ejemplo, un hormigón expuesto a sulfatos solubles puede sufrir ablandamiento de la matriz de la pasta o un aumento de su porosidad global; estos dos efectos pueden reducir su durabilidad.

De acuerdo con Guía para la Durabilidad del Hormigón Informado por el Comité ACI 201, los requisitos para proteger al hormigón contra los daños provocados por ataques de sulfatos provenientes de fuentes externas dependen de cada tipo de exposición.

En cuanto a la Exposición Clase 0, el requisito de sulfato es de 0,00 a 0,10. En el caso de la perlita cruda, su valor de sulfatos es menor a los 0,05, por lo que no presentaría un riesgo para dicho material.

## 5.2 Comportamiento en estado fresco

El estado fresco de las mezclas comprende el período que va desde el momento que el material cementicio se pone en contacto con el agua, hasta que comienza el fraguado. Durante ese período el material debe tener un comportamiento reológico que permita la adecuada colocación y compactación, que evite la formación de nidos de abeja y de poros de aire atrapados, obtenga la mínima segregación y exudación, y una buena terminación superficial. Los defectos que el material pueda incorporar en este período, repercutirán de

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

manera desfavorable sobre sus propiedades mecánicas y durables, siendo escasa o nula la posibilidad de revertirlos posteriormente (Cabrera, 2013).

### 5.2.1 Consistencia normal

Se determinó la consistencia normal a través de la medición de la penetración de la sonda de Vicat según norma IRAM 1612. Se encontraron los resultados que se presentan en la Tabla 5.6 para las diferentes mezclas y las variaciones de contenido de agua incorporadas.

Tabla 5.6 Proporción de materiales para determinar la consistencia normal

Dosificación	Cemento [g]	Cal [g]	Perlita [g]	Agua [g]
30-70-0,23	90	-	210	78
40-60-0,22	-	120	180	105
20-10-70-0,24	60	30	210	90

Se intentó determinar para las demás dosificaciones, pero no se pudo determinar para las que contenían más del 85% de perlita cruda.

Por lo tanto, se centró en el estudio de las tres dosificaciones anteriormente mostradas, ya que como se observará más adelante, son las que tienen las características mecánicas más aceptables.

### 5.2.2 Inicio y fin de fragüe

Se determinó el inicio y fin de fragüe a través de la medición de la penetración de la aguja de Vicat según norma IRAM 1619. Se encontraron los resultados que se presentan en la Tabla 5.7 para las distintas mezclas:

Tabla 5.7 Inicio y fin de fragüe

Dosificación	Inicio de fragüe [min]	Fin de fragüe [min]
30-70-0,23	76	240
40-60-0,22	100	338
20-10-70-0,24	70	275

Más allá de los valores obtenidos, siempre se trabajó durante los 60 minutos desde que entraba el material seco en contacto con el agua para evitar trabajar luego que el fragüe iniciara.

Esto se ajustaba a la cantidad de material empleado en cada pastonada, donde se preparaba el material para la fabricación de diez mampuestos.



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

A continuación, se muestran los ensayos para la dosificación 20-10-70 ya que particularmente es la que se seleccionará para realizarla en la localidad de San Antonio de los Cobres.

Tabla 5.8 Inicio y fin de fragüe de la dosificación 20-10-70

Tiempo [min]	Penetración [mm]			Promedio
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0	40	40	40	40
15	40	40	40	40
30	40	40	40	40
45	40	40	40	40
60	35	38	40	38
75	30	40	33	34
90	35	30	25	30
120	32	21	20	24
150	20	18	16	18
180	15	15	11	14
210	1	1	2	1

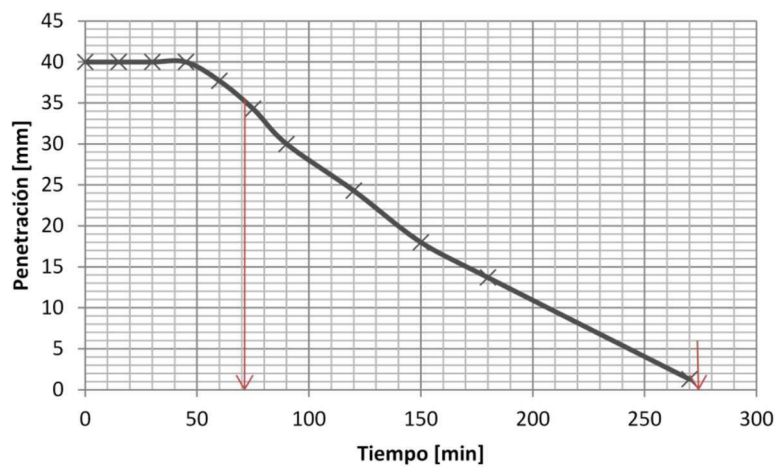


Figura 5.5 Inicio y fin de fragüe de la dosificación 20-10-70

Inicio de fragüe: 70 minutos aproximadamente.

Fin de fragüe: 275 minutos aproximadamente.

### 5.2.3 Consistencia

Se determinó la consistencia a través de la medición del asentamiento mediante el tronco de cono según norma IRAM 1536.



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Para todos los casos, el asentamiento fue nulo ya que se buscaba una consistencia seca. Esto permite que una vez compactado el mampuesto se pueda desmoldar instantáneamente con los recaudos necesarios.

### 5.3 Comportamiento en estado endurecido

La resistencia de un material puede ser definida como la capacidad de resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo. Resulta de importancia conocer parámetros de resistencia como la resistencia a compresión para evaluar su capacidad de respuesta mecánica ante sollicitaciones.

#### 5.3.1 Peso y densidad aparente

Una de las características más relevante es el peso del mampuesto, ya que este influye en la fundación y en la manipulación porque es más complicado trabajar con elementos demasiado pesados. Además, conociendo las dimensiones se puede conocer la densidad aparente de cada dosificación.

Tabla 5.9 Peso de los ladrillos macizos

Código	Dosificación	Peso [Kg]	Densidad aparente [kg/m <sup>3</sup> ]
1	10-90-0,26	3,92	1126
2	15-85-0,24	4,12	1184
3	20-80-0,24	4,37	1256
4	25-75-0,23	4,41	1267
5	30-70-0,23	5,50	1580
6	30-70-0,21	5,67	1629
7	40-60-0,22	4,32	1241
8	20-10-70-0,24	5,72	1644
9	20-10-70-0,26	6,16	1770
10	25-10-65-0,24	6,18	1776

Un adobe de San Antonio de los Cobres de fabricación empírica cuyas medidas son de 20x20x40 centímetros, tiene un peso cercano a los 20 kilogramos con una densidad próxima a los 1200 kg/m<sup>3</sup>.

Los bloques huecos solo fueron elaborados con la dosificación 20-10-70, el peso del mismo es de 13 kilogramos, aunque sus dimensiones y rendimiento son mayores que los ladrillos macizos. Con las dimensiones del bloque de 20x20x40 centímetros, se puede conocer la densidad aparente del bloque que es de 813 kg/m<sup>3</sup>.

#### 5.3.2 Resistencia mecánica

##### 5.3.2.1 Resistencia a compresión y flexión de probetas prismáticas

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Primero se comenzó utilizando como únicos componentes el cemento y el residuo mineral, manteniendo siempre constante la relación agua mezcla. De esta manera se pudo observar a primera instancia cómo variaban las propiedades mecánicas con respecto al porcentaje de sus componentes secos.

Tabla 5.10 Resistencia a compresión y flexión de probetas prismáticas

Dosificación	Resistencia a Compresión [MPa]	Resistencia a flexión [MPa]
10-90-0,21	0,71	0,26
15-85-0,21	0,95	0,53
20-80-0,21	1,75	0,62
25-75-0,21	2,04	1,31
30-70-0,21	3,98	1,90

Se muestran en el anexo los resultados de las distintas dosificaciones que se hicieron en probetas prismáticas, aclarando que solo se realizaron aquellas para poder encarar el tema de los ladrillos.

### 5.3.3.2 Resistencia a compresión y flexión de ladrillos macizos

La resistencia de la albañilería a compresión y flexión definen el comportamiento estructural de los diferentes elementos de la albañilería ante la acción de las solicitaciones reales. Con el propósito de determinar dichas resistencias se han diseñado multitud de ensayos en pequeños especímenes, cuyo resultado constituyen la base de nuestro conocimiento estructural del material.

A continuación, se muestran las respuestas de los mampuestos macizos a los esfuerzos de compresión y flexión para las distintas dosificaciones:

Tabla 5.11 Resistencia característica a Compresión y Flexión

Código	Dosificación	Edad [días]	Resistencia a la Compresión [MPa]	Resistencia a la Flexión [MPa]	Tipo de cemento
1	10-90-0,26	28	1,07	0,19	CPC30
2	15-85-0,24	28	1,60	0,29	CPC30
3	20-80-0,24	28	2,02	0,11	CPC30
4	25-75-0,23	28	2,45	0,36	CPC30
5	30-70-0,23	28	4,57	1,19	CPC30
6	30-70-0,21	28	3,82	1,30	CPC30
7	40-60-0,22	28	1,81	0,25	CPC30
8	20-10-70-0,24	28	3,78	0,75	CPC30
9	20-10-70-0,26	28	4,31	1,51	CPC40
10	25-10-65-0,24	28	3,89	1,60	CPC30

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Evidentemente, a medida que aumenta la proporción de cemento en la dosificación disminuyendo la de perlita, las resistencias mecánicas van aumentando, mientras que lo hace de la misma manera el peso del ladrillo.

Estos resultados permitieron visualizar las posibles dosificaciones que se realizarán en el lugar de destino, siempre tratando de contener un alto contenido de residuo mineral.

Las tres dosificaciones coloreadas son las tres dosificaciones que se han seleccionado para realizar los ensayos de pilas de ladrillos y de conductividad térmica ya que son los mejores resultados en cuanto a las resistencias mecánicas como así también al alto contenido de residuos. Se podrían obtener mejores resultados, pero esto implicaría una reducción en la cantidad de perlita residual.

Además, se pudo observar el comportamiento puzolánico de la perlita cruda en la evolución de la resistencia de los mampuestos a edades avanzadas de maduración.

Tabla 5.12 Evolución resistencia característica de Compresión y Flexión

Dosificación	Edad [días]	Resistencia a la Compresión [MPa]	Resistencia a la Flexión [MPa]	Edad [días]	Resistencia a la Compresión [MPa]	Resistencia a la Flexión [MPa]
30-70-0,23	90	5,32	1,84	190	5,96	1,45
40-60-0,22	90	3,00	0,57	190	3,02	0,67
20-10-70-0,24	90	6,78	1,17	190	8,28	2,12

Para poder comparar con la resistencia a la compresión de un adobe que ronda el valor de 1 a 1.3 MPa.

Como conclusión puede observarse que la resistencia mecánica de los ladrillos supera el valor de los adobes en algunas dosificaciones, particularmente en las dosificaciones seleccionadas.

En el Anexo se presentan las distintas dosificaciones utilizadas.

#### 5.3.3.3 Resistencia a compresión de bloques huecos

Por otro lado, los bloques de perlita cuya dosificación de mezcla está compuesta en peso por un 20% de cemento Portland compuesto, 10% de cal hidratada y 70% de desecho de perlita se ensayan a compresión a los 28 días dando como resultado valores que apenas superan 1 MPa.

Estos valores no superan los valores de resistencia de los adobes.

#### 5.3.3.4 Comparación en estado seco y húmedo de resistencia en ladrillos

Luego de ensayar las muestras se realizaron los cálculos pertinentes. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.13.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Tabla 5.13 Resultados entre mampuestos secos y húmedos

Ladrillo	Resistencia [MPa]	
	Flexión	Compresión
1	0,88	5,41
2	0,58	3,90
3	0,83	4,31
4	0,55	3,70
5	0,70	4,07
6*	1,96	6,60
7*	1,75	6,41
8*	1,57	5,66
9*	1,71	6,21
10*	1,52	5,46

Tabla 5.14 Valores promedios de los ensayos normalizados

Ladrillo	Resistencia [MPa]	
	Flexión	Compresión
No humedecido	0,71	4,28
Humedecido	1,70	6,07

Se debe aclarar que los ladrillos 1, 2, 3, 4 y 5 son los ladrillos no curados en agua. Los otros (#\*) fueron sumergidos en agua.

Se puede sumar un cuadro en el que se observan los pesos al momento de extraerlos del piletón y al momento del ensayo. Cuando se ensayaron los ladrillos que estuvieron en contacto con el agua, se pudo observar que en su interior continuaba estando húmedo, esto se puede visualizar en la Figura 5.6



Figura 5.6 Diferencia entre un ladrillo humedecido (izquierda) y uno seco (derecha)

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

Tabla 5.15 Variación del peso entre el momento de extracción del piletón y el ensayo

Ladrillo	Peso [kg]	
	Recién retirado	Momento de ensayo
6*	5,224	5,224
7*	5,258	5,204
8*	5,353	5,294
9*	5,351	5,286
10*	5,353	5,284

Para el porcentaje de humedad de esta dosificación se pesaron los mampuestos cuando salieron del piletón, a esto le llamamos P1. Luego se pesaron al momento del ensayo P2. Es decir que se obtuvo el porcentaje de humedad en el mampuesto en el momento del ensayo. Esto se pudo calcular con la fórmula:

$$\%HUMEDAD \text{ (en peso)} = \frac{(P1-P2)*100}{P1} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

El valor de la humedad en peso calculado fue de 0,93%.

### 5.3.4 Durabilidad

#### 5.3.4.1 Absorción y succión capilar

Los resultados con respecto a la durabilidad de los mampuestos se centraron en las tres dosificaciones seleccionadas que se presentan en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Absorción y Succión Capilar

Dosificación	Absorción [%]	Succión Capilar [g/cm <sup>2</sup> ]
30-70-0,23	17,98	1,42
40-60-0,22	21,16	0,35
20-10-70-0,24	20,14	0,81

Además, se muestran los resultados de los mampuestos pintados con una capa impermeable de látex para exteriores. Se puede observar la absorción de cada elemento y como varía el mismo en el tiempo:

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

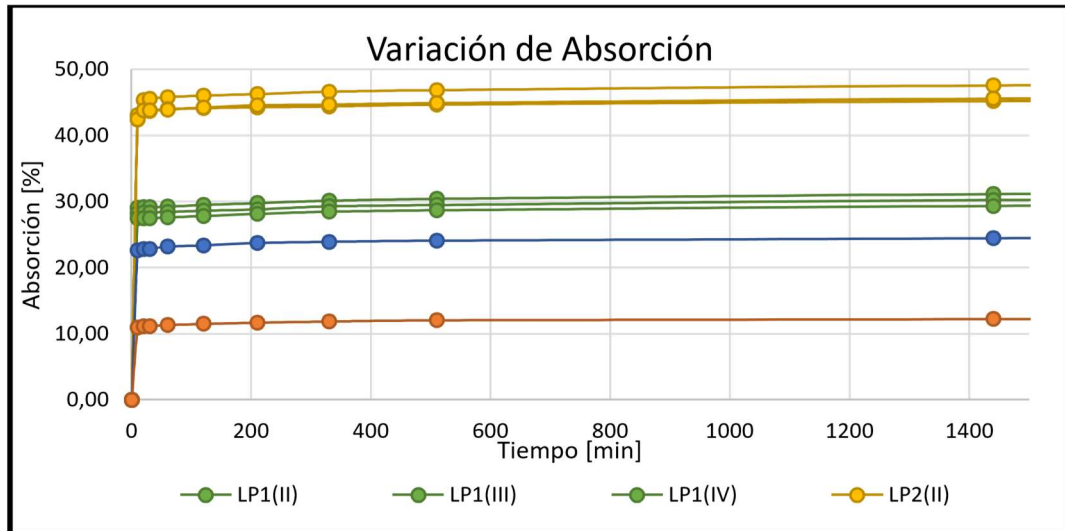


Figura 5.7 Absorción en el tiempo de mampuestos sin pintar.

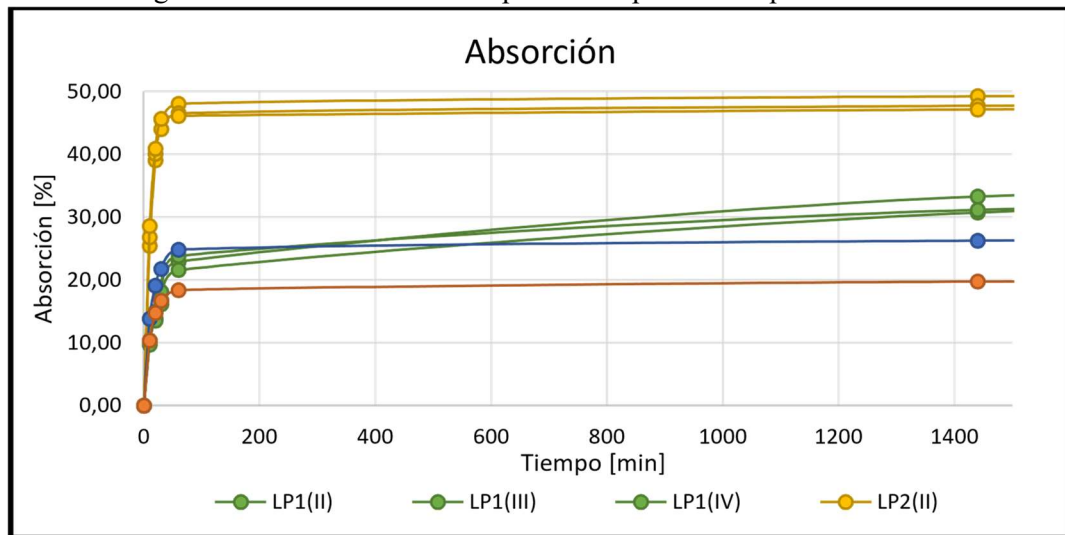


Figura 5.8 Absorción en el tiempo de mampuestos pintados.

Asimismo, se muestran los valores de las absorciones que se obtuvieron en las primeras dosificaciones, que daba una idea sobre la relación que existe entre la cantidad de perlita y el porcentaje de absorción.

Tabla 5.17 Absorción

Código	Dosificación	Absorción [%]
1	10-90-0,26	25,48
2	15-85-0,24	24,67
3	20-80-0,24	22,51
4	25-75-0,23	21,77
5	30-70-0,23	17,98
7	40-60-0,22	21,16
8	20-10-70-0,24	20,14

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Evidentemente, a medida que aumenta la proporción de cemento en la dosificación disminuyendo la de perlita, disminuye la absorción como indicador de durabilidad. De todas maneras, los resultados muestran valores altos de absorción, el cual puede ser reducido con el empleo de al material impermeabilizante.

Estos parámetros no pudieron ser medidos en los adobes de San Antonio de los Cobres ya que estos mampuestos de arcilla cruda se desagregan al entrar en contacto con el agua.

Las distintas medidas serán indicadas en tablas ubicadas en el anexo.

### 5.3.5 Conductividad Térmica

Se determinó la conductividad térmica para las dosificaciones seleccionadas cuyos resultados se presentan en la Tabla 5.12.

Tabla 5.18 Conductividad Térmica

Dosificación	Conductividad Térmica [W/°C.m]
30-70-0,23	0,804
40-60-0,22	0,817
20-10-70-0,24	0,764

Se evidenciaron las propiedades térmicas de los mampuestos macizos ya que se comprobó mediante ensayo de conductividad térmica que dichos mampuestos presentaron conductividades similares que la del adobe de arcilla cruda cuyo valor ronda los 0,45-0,85 W/°C.m dependiendo la densidad del mismo.

Para ampliar la comparación, el hormigón tiene una conductividad térmica que se encuentra entre los 0,97-1,74 W/°C.m y el ladrillo macizo cerámico entre los 0,81-1,10 W/°C.m en todos los casos dependiendo de la densidad aparente del material como lo indica la Norma IRAM 11.601.



Figura 5.9 Resultado de conductividad térmica mostrada en el equipo

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Como puede observarse los ladrillos de perlita poseen características térmicas similares a los materiales comunes que se emplean en la construcción dando como tal un satisfactorio resultado.

### 5.3.6 Pilas de mampostería maciza

#### 5.3.6.1 Resistencia a la compresión

Con el propósito de determinar la resistencia a la compresión se han diseñado especímenes compuestos de 4 ladrillos macizos, cuyo resultado constituyen la base de nuestro conocimiento estructural del material.

En la Tabla 5.19 se presentan los resultados de ensayos a compresión de pilas de ladrillos macizos de perlita:

Tabla 5.19 Resistencia a la Compresión de Pilas

Dosificación	Resistencia a la Compresión [MPa]
30-70-0,23	1,44±0,05
40-60-0,22	1,12±0,04
20-10-70-0,24	2,78±0,09



Figura 5.10 Pila de ladrillos luego del ensayo a compresión



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

### 5.3.6.2 Módulo de elasticidad de la mampostería

El módulo de elasticidad longitudinal  $E_m$  de la mampostería podrá determinarse experimentalmente o bien establecerse en forma aproximada según lo indica la fórmula indicada la sección 6.2.1 del Reglamento CIRSOC 501.

$$E_m = 850 f_m \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Donde:

$E_m$ : es el módulo de elasticidad longitudinal de la mampostería en MPa.

$f_m$ : es la resistencia especificada a compresión de la pila de mampostería.

- Dosificación 40-60;  $E_m = 952$  MPa.
- Dosificación 30-70;  $E_m = 1224$  MPa.
- Dosificación 10-20-70;  $E_m = 2363$  MPa.

### 5.3.7 Muretes

#### 5.3.7.1 Adherencia entre mortero y mampostería

La Tabla 5.20 presenta los resultados de la resistencia de adherencia en el murete ensayado de acuerdo al punto 4.4.9.2.

Tabla 5.20 Resistencia de adherencia en muretes

Muestra	Carga [kg]	Carga sobre mampuesto [kg]	Adhesión [MPa]
I	14.00	97.03	0.12
II	34.12	213.33	0.26
III	40.20	248.48	0.28
IV	40.71	251.28	0.31
V	40.43	249.78	0.30

## 5.4 Costos

Para la elaboración de un ladrillo macizo de perlita de dosificación 20-10-70 se necesitan los siguientes materiales:

- Cemento CPC 30: 1,14 kg
- Cal hidratada: 0,57 kg
- Perlita cruda: al ser un desecho lo dan de manera gratuita. De todas maneras, el costo por kilogramo de perlita es de \$6,63 pesos argentinos.

Se analiza solo esta dosificación ya que será la que se elaborará en la localidad de San Antonio de los Cobres.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Los precios corresponden a los comercios de San Antonio para el mes de abril del 2021.

- Bolsa de cemento CPC30 de 50 kg: \$880
- Bolsa de cal hidratada de 25kg: \$520

Por lo tanto, para fabricar un ladrillo, este tendrá un costo de \$31,92.

A este costo se le puede agregar el valor de consumir un desecho en gran cantidad, ya que cada ladrillo consume 4kg de perlita cruda.

Los mampuestos que se venden actualmente en San Antonio son los siguientes:

- Ladrillo cerámico macizo de 250 x 120 x 65 mm: \$35 - \$40
- Bloque de hormigón de 200\*200\*400 mm: \$60

Finalmente, el costo del ladrillo de perlita cruda es competitivo frente a las opciones comerciales existentes en la localidad de San Antonio de los Cobres.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## Capítulo 6:

### Conclusiones y futuras líneas de investigación

En las siguientes secciones se presentan las principales conclusiones alcanzadas y las futuras líneas de investigación.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 6.1 Consideraciones generales

En este capítulo se presentan las conclusiones de la investigación de los mampuestos con alta cantidad de finos de perlita cruda. Se presenta en primera instancia las conclusiones sobre la caracterización de la perlita utilizada.

Junto a la perlita se emplearon materiales de fácil acceso como ser el cemento portland CPC 30 y cal hidratada. Los porcentajes de perlita utilizados fueron desde los 60 a los 90% en peso. La relación agua-mezcla siempre estuvo en función de la consistencia necesaria al momento de compactar el mampuesto durante su fabricación.

Los mampuestos fueron evaluados en estado fresco y en estado endurecido con parámetros de resistencia mecánica e indicadores de durabilidad, analizando los resultados en función de los porcentajes de perlita en peso.

## 6.2 Conclusiones sobre la caracterización físico química de la perlita

La perlita utilizada en este estudio fue proporcionada por IMERYS en San Antonio de los Cobres, Salta. La misma mide entre los 75 – 150  $\mu\text{m}$  de tamaño y posee una densidad real de 2230  $\text{kg/m}^3$ .

Desde el punto de vista químico, destacan los contenidos elevados de dióxido de silicio (72%) y alúmina (13%), álcalis (sodio y potasio), con bajos niveles de hierro, calcio y magnesio.

Las imágenes SEM de la perlita indican que la perlita tiene una morfología irregular, una forma de placa no uniforme, una forma vítrea (estructura amorfa) y una estructura porosa con bordes afilados.

Con el incremento de la resistencia mecánica a lo largo de los 190 días, se pudo observar el efecto puzolánico de la perlita cruda.

La distribución de los tamaños de las partículas indica que el 20% de la perlita cruda es menor a los 10 micrones, y que a pesar que son superiores a los 2,5 micrones, esta presenta un riesgo para la salud, ya que de acuerdo a la Ley 19587 y el decreto 351 de higiene y seguridad para las partículas de 10 micrones, es inhalable el 77% de la masa de partículas, partículas que pueden penetrar y alojarse profundamente en los pulmones.

En cuanto a la presencia de sulfatos, la misma se presenta en cantidades que no representan un riesgo para la posible interacción con armaduras de acero.

## 6.3 Conclusiones sobre las mezclas en estado fresco

Conociendo la consistencia normal de cada dosificación se pudo determinar el inicio y fin de fragüe que rondaban entre los 75 y 260 minutos respectivamente. Se recalca que no afecta los requisitos físicos del cemento utilizado que indica la Norma IRAM 50.000. Esto permite conocer el tiempo en que es trabajable la mezcla para la fabricación de los mampuestos, incluyendo los tiempos de mezclado y compactado.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Los mampuestos al instante en que son compactados, deben manipularse para poder continuar compactando el siguiente. Es por ello que la consistencia seleccionada fue seca.

Se observa que a medida que aumenta el porcentaje de perlita cruda en una mezcla, se produce pérdida de consistencia; esto se debe a que la perlita tiene una microestructura porosa que la convierte en un material con gran capacidad de retención de agua. A mayor cantidad de perlita mayor pérdida de consistencia.

## 6.4 Conclusiones sobre los hormigones en estado endurecido

### 6.4.1 Resistencia mecánica

Tomando como foco la resistencia a compresión, todas las mezclas con perlita cruda presentan un aumento de la resistencia con el tiempo, como consecuencia de la ganancia natural de resistencia debido a los procesos de hidratación del cemento en el tiempo y a la contribución del efecto puzolánico de la adición en las mezclas que contienen perlita.

A pesar que la resistencia a los 28 días no alcanza los 5 MPa, requisito para que sean considerados portantes (IRAM 12566), a los 90 días las dosificaciones 30-70 y 20-10-70 alcanzan resistencias que superan el valor anteriormente nombrado. No así la mezcla que solo contiene cal hidratada y perlita, que a los 90 días apenas supera los 3 MPa.

La resistencia para la mezcla 30-70 aumenta un 116% para los 90 días y 130% para los 190 días. Para las mismas edades, la dosificación 20-10-70 aumenta un 179% y unos 219%.

Esto demuestra que, aunque a los 28 días la mezcla de cemento con perlita presentaba mejor resistencia que la mezcla de cemento, cal hidratada y perlita, a largo plazo esta última la supera en un 89%.

En general, a mayor contenido de perlita cruda disminuyen las resistencias mecánicas, por lo que se recomienda una proporción máxima de 70% en peso. Además, por lo expuesto en la evolución de la resistencia a la compresión, se sugiere la mezcla de cemento, cal hidratada y perlita cruda. De todas maneras, superan la resistencia a la compresión de un adobe que ronda los 1 a 2 MPa.

En la otra mano están los bloques huecos cuyas resistencias a la compresión de todas las dosificaciones apenas superan 1 MPa. Por lo que se recomienda utilizar los macizos ya que superan los 4MPa a la edad de diseño.

La ganancia de resistencia a largo plazo justifica que para la dosificación 20-10-70 resulte correcto afirmar que es viable. Con esto se logra una importante contribución en el desarrollo de mampuestos con alto contenido de desechos de perlita cruda cuya producción reduce el impacto al medio ambiente, a parte que tienen la posibilidad de fabricarse sin el empleo de corriente eléctrica y con materiales tradicionales accesibles para su uso en viviendas sociales.

Por otro lado, se observó que los mampuestos que fueron humedecidos, más allá que permanecían con humedad en su interior, mostraron un leve incremento en la resistencia

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

tanto a la flexión como a la compresión. Es decir que el contacto con el agua beneficia la vinculación que existe entre el cemento, cal hidratada y la perlita cruda que trabajaría como si fuese una puzolana activa.

#### 6.4.2 Indicadores de durabilidad

Los valores obtenidos para la absorción de agua para todas las dosificaciones son altos, superando el 20%. A medida que aumenta la cantidad de contenido de perlita cruda, se manifiesta un incremento en la absorción. Con un incremento del 5% de perlita en peso, la absorción aumenta un 2 a 3%.

Se puede apreciar que la velocidad de absorción es menor en los elementos pintados, pero que esto no tiene sentido, ya que a las 24 horas del ensayo los valores de absorción tienden a ser los mismos que los mampuestos sin pintar.

Sería recomendable experimentar con un aislante de mejor calidad para analizar la variación de absorción, aunque en ese caso se perdería el carácter social porque la utilización de pinturas más específicas no estaría al alcance de todos.

De todas maneras, los mampuestos están destinados a una zona donde existen bajas precipitaciones, donde utilizan adobes de arcillas que se desarman en presencia del agua, y de ser necesario se puede solucionar utilizando un impermeabilizante para mampuestos.

Con respecto a la succión capilar, el valor obtenido para la mezcla 20-10-70 se encuentra entre los valores de las mezclas que solo contienen cemento y perlita, y la que contiene cal hidratada y perlita cruda. Estos valores obtenidos sugieren que los mampuestos deben tener un tiempo prolongado de pre humedecimiento,

#### 6.5 Conductividad Térmica

En cuanto a los valores de coeficientes térmicos, estos se asimilan a la de un mampuesto cerámico macizo tradicional, salvo en el caso del 20-10-70 que presenta un menor valor beneficiando el aislamiento térmico a las condiciones climáticas de San Antonio de Los Cobres, que posee un coeficiente similar al adobe de arcilla crudo.

#### 6.6 Adherencia en morteros

Para el murete se analiza la adherencia del mortero el cual es bajo a comparación de los valores de mezcla de asiento comunes, que rondan 0,16 MPa.

#### 6.7 Análisis de costos

La dosificación 20-10-70 presenta un costo favorable con respecto a los mampuestos cerámicos tradicionales y sin perder sus propiedades características, colaborando con las demandas sociales de escasos recursos.

Finalmente se debe remarcar que el beneficio no solo se centra en la parte económica sino también en el beneficio al medio ambiente dando utilidad a un material residual.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 6.8 Conclusiones finales

Después de la realización de este trabajo de posgrado se puede expresar, como conclusión principal que, buscando superar las resistencias del adobe y todo lo que involucra las condiciones adversas de la localidad de San Antonio de los Cobres, se recomienda el empleo de ladrillos de perlita macizo con la dosificación de 20% de cemento, 10% de cal hidratada y 70% de perlita en peso, ya que presenta las mejores características entre las composiciones estudiadas. Con estas nos referimos a que presenta no solo el menor coeficiente térmico, sino también a su buena resistencia, durabilidad, absorción, succión capilar y economía. Se puede mencionar así también la textura dando como opción tener una terminación a la vista (sin necesidad de revoque) beneficiando los costos de la construcción.

Con lo anteriormente expuesto, se puede concluir que los ladrillos macizos de perlita son una alternativa para reemplazar los adobes de arcilla en la edificación de viviendas sociales.

Por otro lado, en el caso que no se cuente con alguno de los materiales se podrían utilizar como alternativas las otras dos dosificaciones restantes, en la que involucran solamente cal hidratada o perlita cruda, ajustándose al alcance de la población.

El trabajo queda abierto para continuar mejorando la performance de estas dosificaciones, que es la esencia de la ingeniería, continuar mejorando.

## 6.9 Líneas de investigación futuras

De acuerdo con las conclusiones alentadoras presentadas en este trabajo de tesis en el empleo de residuos de perlita cruda en mampuestos, se considera importante seguir profundizando algunas líneas de investigación derivadas de los resultados de esta tesis.

Es de relevancia seguir investigando el comportamiento de este material heterogéneo no abarcados en esta tesis; se debería avanzar en investigaciones ante situaciones de deterioro frente a la acción del viento, así como los ensayos de congelación y deshielo, y la respuesta frente a acciones sísmicas.

También se considera valioso ahondar en el enfoque del comportamiento de la microestructura del material como una herramienta de evaluación de los modelos de comportamiento de los mampuestos de perlita, estableciendo relaciones entre la microestructura y sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

Para lograr un "desarrollo sostenible económico de habitabilidad de San Antonio de los Cobres", es necesario garantizar que las necesidades del presente no comprometan las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

La utilización de materiales componentes de bajo costo de adquisición y/o transformación como es la perlita cruda, coloca a este nuevo material de forma competitiva en el mercado. Esto lo posiciona, como un material de construcción de bajo consumo energético y contribuye a reducir el empleo de recursos naturales no renovables brindando, además, una solución a la disposición final de los residuos de perlita.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## CAPITULO 7:

### TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA AL MEDIO LOCAL. TRABAJO EXPERIMENTAL EN SAN ANTONIO DE LOS COBRES

Todo lo referido a la transferencia del conocimiento a las comunidades que habitan en la localidad de San Antonio de los Cobres.



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 7.1 Introducción

El estudio de los mampuestos de perlita tiene por finalidad brindar una alternativa constructiva a los habitantes de San Antonio de los Cobres, particularmente a las comunidades que habitan en donde se realizan las extracciones de perlita.

Una de estas comunidades se llama “Kolla del desierto”, que está compuesta por numerosas familias y es dirigido por un cacique elegido democráticamente.

El vínculo entre la parte experimental de laboratorio y la comunidad la realizó la Secretaría de Minería de la Provincia de Salta, ya que ésta se encarga de vincular las empresas mineras y las comunidades propietaria de las tierras donde existen las diversas canteras.

En este caso, la Secretaría de Minería facilitó el contacto con la comunidad a través de las mesas de trabajo que se realizaban en San Antonio de los Cobres una vez a la semana. Estas reuniones buscaban que las empresas mineras provean de recursos económicos para beneficio de las comunidades.

La comunidad solicitaba la construcción de un salón de uso múltiples ubicado en proximidades a la localidad de San Antonio de los Cobres. Este salón va a estar compuesto de materiales tradicionales, pero también tendrá la incorporación de los ladrillos macizos de perlita cruda, más específicamente estos constituirán unos 72 metros cuadrados del proyecto.

Por lo tanto, se requeriría la fabricación de cerca de tres mil ladrillos, que con el mismo rendimiento aplicado en la universidad tomaría alrededor de 7 a 8 semanas si es que solo cuentan con una compactadora.

A partir del mes de mayo del 2019 se realizaron capacitaciones a los integrantes de la comunidad nombrada y luego parte de los mampuestos que se realizaron en la zona se ensayaron en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Salta.



Figura 7.1 Lugar donde se construirá el Salón de uso múltiples

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 7.2 Objetivo

Transferir el conocimiento a los integrantes de la comunidad a través de metodologías similares a la fabricación de los adobes de arcilla cruda.

## 7.3 Trabajo experimental

La transferencia de conocimiento se inició en el lugar donde se realizaban las mesas de trabajo, empezando con una charla a la comunidad sobre la fabricación de los mampuestos, la finalidad de los mismos y las medidas de seguridad que se debían tener en cuenta.

Luego, en el lugar donde se fabricarían los mampuestos se explicó cómo montar la compactadora Cinva-Ram, las proporciones de los materiales y cómo era la mezcla de los mismos. Además, se remarcó las similitudes que existían con la fabricación de los adobes de arcilla.

Cabe aclarar que el lugar donde se realizaron los mampuestos no contaba con el suministro de energía eléctrica. Esto no fue un impedimento, lo cual fue visto de manera positiva por la comunidad.



Figura 7.2 Se muestra la compactadora, a la extrema derecha se observa al cacique

## 7.4 Materiales

Los materiales empleados (cemento y cal hidratada) fueron los que se podían adquirir en las ferreterías de la localidad ya que fue suministrada por las empresas mineras.

La perlita cruda la brindó la empresa que explotaba dicho mineral

Se utilizó agua de la red.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

### 7.5 Elaboración de mampuestos

Como la comunidad acostumbraba a trabajar las proporciones en volúmenes, se utilizaron los pesos específicos de los materiales para llevarlos a cantidades de baldes que se utilizan comúnmente. Solo se trabajó con la dosificación 20-10-70.

Una vez presentados los mampuestos se explicó el orden de mezclado aclarando que primero se realiza un mezclado en seco como se muestra en la figura 7.3.



Figura 7.3 Mezclado de las proporciones en seco

Luego de agregado el agua, se procedió a mezclar manualmente hasta adquirir la consistencia deseada.

Después la mezcla se llevaba a la Cinva-Ram y se compactaba el mampuesto que instantáneamente era ubicado en otro lugar para continuar compactando el siguiente.

Una vez mostrado todo el procedimiento, los integrantes de la comunidad empezaron a fabricar los demás ladrillos macizos de perlita (Figura 7.4).



Figura 7.4 Los integrantes de la comunidad fabricando los mampuestos



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Mientras se fabricaban los ladrillos de perlita, se explicaba por qué se utilizaban dichos materiales y la proporción de los mismos.



Figura 7.5 Primeros mampuestos elaborados in situ

A lo largo de la capacitación se elaboraron cerca de cien ladrillos, y luego los pobladores continuaron fabricando por su cuenta.

El curado de los mampuestos in situ fue similar al de los adobes de arcilla.

La compactadora quedó en la comunidad para que puedan fabricar una similar.

Lamentablemente la pandemia evitó que se iniciaran los trabajos preliminares para la ejecución del salón de uso múltiples.



Figura 7.6 Lugar de trabajo

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 7.6 Resultados

Los mampuestos que fueron trasladados y ensayados en el laboratorio dieron valores similares a los ensayados previamente.

Las pequeñas diferencias se deben no solo a la medición de los materiales de pasar de pesos a volúmenes, sino que además fueron variando los operarios que fabricaban los mampuestos.

## 7.7 Conclusiones

Se observó que la comunidad recibió con agrado la alternativa de fabricar los ladrillos macizos de perlita. Esto no es un detalle menor ya que no es fácil acceder a la comunidad por una cuestión cultural.

También se determinó que los resultados mecánicos no variaron significativamente.

Queda pendiente continuar con la fabricación de mampuestos y la aplicación de los mismos en el salón de usos múltiples que se desea construir en San Antonio de los Cobres.

Solo queda agradecer a la comunidad el entusiasmo con el que se trabajó en esta capacitación que se llevó a cabo durante el año 2019.



Figura 7.7 Integrantes de la comunidad

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## ANEXO I:

### PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

En el presente anexo se menciona los principales trabajos y actividades desarrolladas y logradas durante el desarrollo de la tesis doctoral. En el apartado 10.1 se menciona los trabajos científicos publicados en congresos, talleres, jornadas, reuniones, nacionales e internacionales. En el apartado 10.2 se enumeran los trabajos presentados a eventos científicos que no se han publicado. En el apartado 10.3 se citan los artículos publicados en revistas pertinentes a la temática de estudio, en el apartado 10.4 se mencionan los proyectos I+D en los que se ha participado y han dado marco a la presente investigación y en los apartados 10.5, 10.6 y 10.7 pasantía realizada, formación de recursos humanos y actividad docente respectivamente.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 8.1 Trabajos presentados en congresos con referato

A continuación, se presentan los trabajos científicos presentados en distintos eventos científicos que han sido evaluados y presentados durante el desarrollo de la tesis doctoral:

Título: Evolución de resistencia en ladrillos con alto contenido de residuos de perlita.

Autores: Lucas Burgos, Ángel Oshiro, María Inés Sastre, Héctor Cardozo.

Reunión: VII Congreso Internacional y 21ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.

Lugar y fecha: Salta, septiembre 2016.

Publicación: Memorias. ISBN 978-987-21660-9-0

Título: Estudio de residuos de perlita en la fabricación de mampuestos para reemplazar el adobe en la puna salteña, Argentina.

Autores: Lucas Burgos, Ángel Oshiro, María Inés Sastre, Héctor Cardozo

Reunión: XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas.

Lugar y fecha: Porto, Portugal, octubre 2016.

Publicación: Anales. ISBN: 978-972-752-203.3

Título: Fabricación de ladrillos con elevado contenido de residuo de perlita cruda.

Autores: Lucas Burgos, Ángel Oshiro, María Inés Sastre, Héctor Cardozo

Reunión: V Encuentro Nacional sobre aprovechamiento de Residuos en la Construcción.

Lugar y fecha: Fortaleza, Brasil, agosto 2017.

Publicación: Anales.

Título: Comparación en estado seco y húmedo de resistencia en ladrillos con alto contenido de residuos de perlita.

Autores: Lucas Burgos, Ángel Oshiro, María Inés Sastre, Héctor Cardozo Reunión:

XIV Congreso Latinoamericano de Patología en la Construcción.

Lugar y fecha: Asunción, Paraguay, septiembre 2017.

Publicación: Memorias. ISBN 978-99967-0-464-2

Título: Ladrillo de adobe vs ladrillo de perlita.



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Autores: Lucas Burgos, Ángel Oshiro, María Inés Sastre, Héctor Cardozo

Reunión: VIII Congreso Internacional y 22ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.

Lugar y fecha: Olavarría, Buenos Aires, noviembre 2018.

Publicación: Memorias.

Título: Variación de absorción en ladrillos de perlita cruda. FALTA CERTIFICADO

Autores: Lucas Burgos, Ángel Oshiro, María Inés Sastre, Héctor Cardozo

Reunión: VIII Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales.

Lugar y fecha: Bariloche, octubre 2018.

Publicación: Libros de Actas. ISBN 978-987-1323-62-3

Título: Ladrillos sustentables de Perlita Cruda.

Autores: Lucas Burgos, Ángel Oshiro, María Inés Sastre, Héctor Cardozo

Reunión: III Encuentro latinoamericano y europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sustentables.

Lugar y fecha: Santa Fe, mayo 2019.

Publicación: Memorias. ISBN 978- 987-47232-1-5

## 8.2 Trabajos presentados en congresos no publicados

Título: Análisis de la incorporación de agregados de perlita cruda en morteros.

Autores: Lucas Burgos, Verónica Artigas, Ángel Oshiro, Franco Cortez

Reunión: III Congreso Argentino de Áridos.

Lugar y fecha: Córdoba, Argentina, noviembre 2017.

Publicación: Memorias.

Título: Comparación en estado seco y húmedo de resistencia en ladrillos con alto contenido de residuos de perlita.

Autores: Lucas Burgos, Ángel Oshiro, María Inés Sastre, Héctor Cardozo

Reunión: Post Conpat.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Lugar y fecha: Córdoba, Argentina, noviembre 2017.

Publicación: Actas del Congreso.

Título: Ladrillos de Desechos de Perlita Cruda fabricados en San Antonio de los Cobres  
- Salta - Argentina.

Autores: Lucas Burgos, Verónica Artigas, Ángel Oshiro.

Reunión: IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental.

Lugar y fecha: Florencio Varela, Buenos Aires, diciembre 2019.

Publicación: Libro de actas.

### 8.3 Artículos en revistas indexadas

Título: Mechanical characterization of Raw-Perlite Solid Bricks for use in construction.

Autores: LUCAS BURGOS.

Revista: LA REVISTA DE LA CONSTRUCCIÓN (Pontificia Universidad Católica de Chile).

Manuscript Code: 1691

Date of Acceptance/Reception: 23.03.2020/04.10.2019

DOI: 10.7764/RDLC.19.1.170-179

### 8.4 Participación en proyectos I+D

Área: Formación de Recursos humanos.

Actividad: Integrante de Proyecto de Investigación.

Proyecto: Ladrillos y bloques de finos de perlita para uso en viviendas sociales

Lugar: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.

Periodo: 2017 - 2018.

Responsable: Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Proyecto de Investigación y Desarrollo.

Actividad: Director de Proyecto de Investigación.

Proyecto: Bloques de perlita cruda

Lugar: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.

Periodo: 2019 - 2020.

Responsable: Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## ANEXO II:

### ELABORACION BLOQUES EN PARQUE INDUSTRIAL

A continuación, se muestra la experiencia de fabricar los bloques huecos de perlita cruda en el parque industrial de la localidad de Güemes, próximo a la Ciudad de Salta. Se manifiestan los materiales, el mezclado y la compactación de los mismos. Además, los resultados obtenidos y las conclusiones correspondientes.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 9.1 Introducción

A través de un convenio, se construyeron bloques huecos de perlita cruda en una fábrica de mampuestos, ubicada en el parque industrial de la localidad de Güemes, próxima a la ciudad de Salta.

Para ello se empleó una compactadora automática modelo “RAUZI BR 522” que se observa en la figura II.1, en la cual se depositaba la mezcla y luego compactaba produciendo varios bloques por tanda.



Figura II.1 Compactadora automática Rauzi con tanda de bloques

## 9.2 Materiales y mezclado

Los materiales fueron traslado desde el laboratorio y depositados en la fábrica. La mezcla de los mismos se realizó de una manera semejante manera a la del laboratorio.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura II.2 Los materiales y las herramientas de mezclado

Luego de obtener una mezcla homogénea, se lo introdujo en la tolva de la prensa. De ahí en adelante, el equipo trabajó automáticamente. Distribuyó las cantidades necesarias en cada molde y procedió a compactar. Los bloques también poseían las mismas dimensiones geométricas que las elaboradas en el laboratorio, es decir, de 20x20x40 centímetros.



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura II.3 Bloques compactados

### 9.3 Resultados

Se fabricaron alrededor de 20 bloques huecos, de los cuales el 70% no se desarmaron en su compactación. La terminación de estos mampuestos, que se puede observar en la Figura II. 4, es excelente debido al tamaño de las partículas de perlita y cemento que la componen.



Figura II.4 Acopio y terminación de los bloques

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Luego estos bloques fueron guardados en el depósito de la empresa para luego ser trasladado al laboratorio y ser ensayados a la edad de diseño.

Tabla II.1 Resultados de ensayos en bloques de perlita

Bloque	Resistencia a compresión [MPa]
1	0,68
2	0,72
3	0,66
4	0,63
5	0,70
6	0,91
7	0,88
8	0,68
9	0,69
10	0,73
11	0,51
12	0,85
13	0,76
14	0,84

Con estos resultados se pudo determinar una media de 0,73Mpa y un desvío estándar de 0,11Mpa, lo que da una variación del 14,84%.

#### 9.4 Conclusiones

Ninguno de los resultados superó el 1 Mpa, por lo que se recomienda mejorar la dosificación. De acuerdo a un trabajador en bloques con experiencia, la falta de material grueso perjudica la resistencia mecánica del bloque de perlita.



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## ANEXO III:

### COMPARACION ENTRE LADRILLO DE ADOBE Y LADRILLO DE PERLITA

A lo largo de la tesis se presentaron características de ambos mampuestos. La intención del anexo es simplificar estas comparaciones para observar la factibilidad que tiene un ladrillo macizo de perlita cruda frente a un mampuesto de adobe.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## 10.1 Introducción

En la localidad de San Antonio de los Cobres al oeste de la provincia de Salta, los habitantes recurren a la utilización de adobes para la construcción de sus viviendas. Estos mampuestos son elaborados por ellos mismos utilizando antiguas técnicas de construcción en donde el principal material es la arcilla. En la actualidad, dicho material en la zona resulta escaso frente a la creciente demanda. Por otro lado, en las proximidades al pueblo existe una planta que extrae perlita generando desechos. Estos desechos son empleados para elaborar ladrillos macizos de perlita cruda.

A continuación, se expondrán las similitudes y diferencias entre estos mampuestos.

## 10.2 Elaboración

### Adobe

El adobe es un ladrillo de barro sin cocer secado el sol. Lo más importante en el momento de fabricar esta pieza es la selección de la tierra que lo compone. El adobe se elabora con una mezcla de arcilla, arena y agua, se introduce en moldes, luego se deja secar al sol por lo general unos 25 a 30 días. Para evitar que se agriete al secar se añaden a la masa paja, crin de caballo, heno seco, que sirven como armadura. Las dimensiones se encuentran en el rango de los 10\*20\*40 cm. La mezcla ideal está compuesta por: 62 % Arena, 18 % Limos y 20 % Arcilla. La granulometría obtenida para el adobe de San Antonio de los Cobres es:

Porcentaje retenido tamiz 200 = 78,35%

Materia orgánica entre 1,5 a 5 gramos.

Contenido de arcilla 30% y de árido 70%.



Figura III.1 Producción de adobes en San Antonio de los Cobres



Figura III.2 Secado de adobes en San Antonio de los Cobres.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Ladrillo de perlita

Para la realización de la mezcla, cuya dosificación (en peso) es de 20% de cemento, 10% de cal hidratada y 70% de perlita, se coloca en la hormigonera en primer lugar el cemento, cal, y la perlita cruda y se mezcla durante unos minutos hasta obtener una mezcla homogénea, luego se agrega el agua, el cual es un 25 por ciento de la cantidad de mezcla realizada.

Una vez obtenida la mezcla, la cual no es acuosa y tampoco muy seca, más bien tendiendo a ser arenosa y apenas humedecida se la coloca dentro del molde de la CINVA-Ram. El inicio de fragüe es a los 70 minutos aproximadamente, por lo que se aconseja solo preparar 50 kg por cada elaboración.

Una vez colocada la mezcla dentro de la CINVA-Ram, una persona se colocará en un extremo y la otra en el otro extremo sobre un tablón de manera de equilibrar y evitar que se levante la máquina. La primera persona ejecutara una presión a través de una palanca movable, la cual a través de un embolo compactara la máquina. Después de un día de fabricado puede ser manipulado sin sufrir roturas ni fisuras. Luego de los 28 días el ladrillo adquiere la mayor de sus resistencias, pudiendo ser utilizado. Las medidas del molde de la CINVA-Ram son de 20\*29\*20 cm, esta última puede ser modificada de acuerdo a la altura que se desee obtener para el mampuesto, en nuestro caso fue de 6 centímetros ya que esta medida se asimilaba a las medidas convencionales dando un elemento no tan alto y pesado, ni tan bajo como para que se quiebre con facilidad. El ladrillo es de forma prismática de 20\*29\*6cm y según la CINVA-Ram utilizada puede tener una fabricaron de hasta 50 ladrillos por hora, con una CINVA-Ram común de un solo molde y una hormigonera pequeña, es decir con el mínimo de recursos.



Figura III.3 Producción de ladrillos de perlita junto a máquina CINVA-Ram

## 10.2 Resistencias mecánicas

### 10.2.1 Resistencia a la compresión

Adobe

La resistencia de los adobes elaborados en San Antonio de los Cobres que fueron trasladados al laboratorio de la facultad de Ingeniería, no superaba los valores de 1 Mpa. Por lo tanto, se recurrió a un trabajo realizado sobre este ensayo de adobes elaborados en la misma localidad (Sastre; Suarez; González, 2012).

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

La resistencia a compresión simple de los adobes fue determinada empleando una prensa de accionamiento hidráulico, con velocidad controlada. Los resultados fueron los que muestra la Tabla III.1:



Figura III.4 Probetas de adobes de San Antonio de los Cobres

Tabla III.1 Ensayo de resistencia a compresión de las muestras de adobe

Adobe	Resistencia[MPa]	Promedio [MPa]
A1	1,33	1,33
A2	1,35	
A3	1,29	
B1	1,17	
B2	1,35	
B3	1,50	

Ladrillo de perlita

La norma IRAM 12586, establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Se ensayaron 13 ladrillos con 28 días de maduración. Aplicando las fórmulas de la Norma IRAM, el valor de resistencia a la compresión fue de 3,00 MPa.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Tabla III.2 Ensayo de resistencia a compresión de ladrillos de perlita

Ladrillo	Resistencia [MPa]	Promedio [MPa]
1	3,70	3,00
2	4,07	
3	3,49	
4	4,65	
5	3,22	
6	3,76	
7	3,90	
8	4,58	
9	4,58	
10	3,43	
11	3,66	
12	3,73	
13	3,43	

#### 10.2.2 Resistencia a la flexión

##### Adobe

Estos adobes, que no se encontraban reforzados, presentaban valores casi nulos con respecto a la resistencia a la flexión.

##### Ladrillo de perlita

La norma IRAM 12587 nos da las pautas necesarias para realizar el ensayo a flexión. Se ensayaron 13 ladrillos con 28 días de maduración. Aplicando las fórmulas de la Norma IRAM, el valor de resistencia a la flexión fue de 0,78 MPa.

Luego con los resultados obtenidos se realiza el módulo de rotura característico a la flexión de la misma manera como se hizo en compresión.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Tabla III.3 Ensayo de resistencia a flexión de ladrillos de perlita

Ladrillo	Resistencia [MPa]	Promedio [MPa]
1	0,79	0,78
2	0,87	
3	0,76	
4	1,01	
5	0,68	
6	0,84	
7	0,80	
8	0,96	
9	1,05	
10	0,72	
11	0,45	
12	0,76	
13	0,44	

### 10.3 Parámetros de durabilidad

#### 10.3.1 Absorción

Se conoce como absorción a la cantidad de agua expresada como un porcentaje, que puede ser retenida dentro de los poros de un material, en un período fijado de tiempo.

#### Adobe

El adobe convencional sufrió desintegración del mampuesto durante el ensayo de absorción y solo ratificó la alta vulnerabilidad del adobe a la acción del agua.



Figura III.5 Probetas de adobes en agua

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

#### Ladrillo de perlita

En el ensayo de absorción se mide la absorción de la unidad sumergida en agua fría durante veinticuatro horas, la absorción máxima de la unidad que corresponde al hervido de la misma durante cinco horas y el coeficiente de saturación, que es la relación entre la absorción y la absorción máxima. Para efectuar el ensayo las unidades se secan, se pesan y se someten al tratamiento antes dicho, y luego de ello se vuelven a pesar. Se llama absorción y absorción máxima a la diferencia de peso entre la unidad mojada y la unidad seca expresada en porcentaje del peso de la unidad seca. El coeficiente de saturación es simplemente la relación entre esos dos porcentajes. La norma a consultar es la norma IRAM 12588.

Se ensayaron 10 ladrillos con 28 días de maduración. Aplicando las fórmulas de la Norma IRAM, el valor de absorción fue de 20,14%.

Tabla III.4 Ensayo de absorción en ladrillos de perlita

Ladrillo	Ai [%]	Ak [%]
1	25,13	20,14
2	25,18	
3	24,17	
4	24,88	
5	25,29	
6	24,49	
7	25,71	
8	24,19	
9	24,42	
10	24,91	

#### 10.3.2 Succión capilar

##### Adobe

El adobe convencional sufrió desprendimiento de partículas durante el ensayo de succión. Esto imposibilitó la cuantificación de resultados y muestra la alta vulnerabilidad del adobe a la acción del agua.

##### Ladrillo de perlita

La succión es la medida de la avidez de agua de la unidad de albañilería en la cara de asiento y es la característica fundamental para definir la relación mortero-unidad en la interface de contacto, y por lo tanto, la resistencia a tracción de la albañilería. Está demostrado que con unidades que tiene una succión excesiva al momento del asentado no se logra usando métodos ordinarios de construcción, uniones adecuadas con el mortero. Cuando la succión es muy alta, el mortero, debido a la rápida pérdida del agua que es absorbida por la unidad, se deforma y endurece, lo que impide un contacto completo e íntimo con la cara de la siguiente unidad. El resultado es una adhesión pobre e incompleta, dejando uniones de baja resistencia y permeables al agua. La norma a consultar es la norma IRAM 12586, la cual habla sobre la capacidad de succión de ladrillos.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Se ensayaron 10 ladrillos con 28 días de maduración. Aplicando las fórmulas de la Norma IRAM, el valor de succión capilar fue de 0,81 gr/cm<sup>2</sup>.

Tabla III.5 Ensayo de succión capilar en ladrillo de perlita

Ladrillo	$\text{Øm}$ [gr/cm <sup>2</sup> ]	$\text{Øk}$ [gr/cm <sup>2</sup> ]
1	1,02	0,81
2	0,85	
3	0,88	
4	1,09	
5	0,96	
6	0,97	
7	0,89	
8	0,99	
9	0,99	
10	0,88	

#### 10.4 Conductividad térmica

Adobe

Algunos de los valores de conductividad térmica de los adobes, analizados por diversos autores en función de la densidad.

Tabla III.6 Conductividad Térmica en adobes

Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductividad Térmica [W/°C.m]
750	0,20
1200	0,46
1650	0,82

Ladrillo de perlita

Los ensayos de conductividad térmica que presentaban los ladrillos con la dosificación elegida se realizaron en el Centro de Investigación y Tecnología de Materiales y Calidad (CINTEMAC), Universidad Tecnológica Nacional Regional Córdoba (UTN), donde se facilitó un equipo para dicho ensayo.

La Conductividad térmica para los ladrillos en estudio fue de 0.764 [W/°C.m].



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.



Figura III.6 Equipo muestra resultado de Conductividad Térmica

## 10.5 Conclusiones

El presente trabajo concluye que el ladrillo de perlita presenta características aceptables para utilizarlos en cerramientos verticales de edificaciones sociales. Con esto nos referimos a que presenta no solo un bajo coeficiente térmico, sino también una admisible resistencia mecánica y durabilidad con respecto al adobe. Una desventaja existente es el alto valor porcentual de absorción, tema que será tratado puntualmente en futuros trabajos. Por otro lado, podemos mencionar la buena textura en sus laterales, dando como opción tener una terminación a la vista (sin necesidad de revoque) beneficiando los costos de la construcción. El trabajo queda abierto para continuar mejorando la performance de este mampuesto.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

## ANEXO IV:

### Tablas de valores

A continuación, se muestran las tablas con los resultados de los ensayos realizados para los distintos elementos, tanto mampuestos como probetas prismáticas que sirvieron como introducción para conocer las distintas dosificaciones.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

Dosificación 10-90				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x5,5	4,245	1,36	0,19
2	20x29x5,6	4,142	1,26	0,19
3	20x29x6,3	4,66	1,09	0,23
4	20x29x6,0	4,473	0,98	0,23
5	20x29x5,7	4,216	1,09	0,19
6	20x29x5,9	4,351	0,88	0,14
7	20x29x6,2	4,59	1,43	0,23
8	20x29x6,1	4,511	1,19	0,19
9	20x29x6,0	4,462	1,09	0,19
10	20x29x6,1	4,506	1,12	0,18

Dosificación 15-85				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x5,7	4,683	0,24	0,42
2	20x29x5,8	4,422	0,20	0,33
3	20x29x5,2	4,12	0,13	0,23
4	20x29x4,8	3,981	0,15	0,09
5	20x29x4,9	3,995	0,15	0,09
6	20x29x5,8	4,418	0,16	0,28
7	20x29x6,1	4,658	0,22	0,42
8	20x29x5,5	4,156	0,17	0,37
9	20x29x6,1	4,589	0,26	0,46

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Dosificación 20-80				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x5,2	4,246	2,31	0,05
2	20x29x5,6	4,406	2,14	0,09
3	20x29x4,8	3,784	2,85	0,09
4	20x29x5,8	4,816	2,00	0,14
5	20x29x6,5	5,336	2,71	0,23
6	20x29x5,7	4,460	1,97	0,14
7	20x29x5,4	4,256	1,83	0,09
8	20x29x5,0	4,082	1,36	0,05
9	20x29x5,7	4,522	2,48	0,14
10	20x29x5,0	3,702	1,36	0,05
11	20x29x6,1	4,453	2,27	0,14

Dosificación 25-75				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x4,9	3,586	2,54	0,23
2	20x29x6,3	4,904	2,32	0,46
3	20x29x6,9	5,207	3,19	0,40
4	20x29x5,5	3,942	2,27	0,33
5	20x29x5,7	4,215	2,48	0,37
6	20x29x5,8	4,401	2,51	0,37
7	20x29x6,1	4,698	2,65	0,42
8	20x29x6,1	4,714	2,54	0,33
9	20x29x5,8	4,423	2,68	0,33
10	20x29x5,5	3,983	2,34	0,23

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Dosificación 30-70-0,21				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x6,0	5,752	3,53	1,39
2	20x29x5,0	5,07	3,63	1,30
3	20x29x6,0	5,943	4,51	1,38
4	20x29x5,9	5,692	3,66	1,32
5	20x29x5,5	5,416	3,32	1,16
6	20x29x5,8	5,625	3,49	1,25
7	20x29x5,9	5,683	3,83	1,35
8	20x29x6,0	5,874	4,31	1,44
9	20x29x6,1	5,977	4,85	1,53
10	20x29x5,9	5,684	3,70	1,35

Dosificación 30-70-0,23				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x4,5	3,184	4,78	1,39
2	20x29x6,1	5,765	4,75	1,02
3	20x29x6,9	6,142	6,15	2,16
4	20x29x6,1	5,714	4,61	1,11
5	20x29x5,8	5,175	4,14	0,88
6	20x29x5,5	4,953	3,49	0,42
7	20x29x6,1	5,697	4,99	1,02
8	20x29x5,8	5,208	4,07	0,79
9	20x29x5,8	5,124	4,31	0,70
10	20x29x6,1	5,711	5,36	1,07

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Dosificación 20-10-70-0,24				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x6,3	5,967	3,70	0,79
2	20x29x6,4	5,991	4,07	0,87
3	20x29x6,1	5,783	3,49	0,76
4	20x29x6,6	6,178	4,65	1,01
5	20x29x6,0	5,508	3,22	0,68
6	20x29x6,3	5,836	3,77	0,84
7	20x29x6,3	5,896	3,90	0,80
8	20x29x6,5	6,12	4,58	0,96
9	20x29x6,5	5,608	4,52	1,05
10	20x29x6,1	5,462	3,43	0,72
11	20x29x6,3	5,623	3,66	0,45
12	20x29x6,2	5,492	3,73	0,76
13	20x29x5,7	4,892	3,43	0,44

Dosificación 20-10-70-0,24 (Cemento CPC40)				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x6,0	6,288	4,38	1,46
2	20x29x6,1	6,242	4,24	1,60
3	20x29x5,9	5,993	4,04	1,49
4	20x29x6,4	6,483	5,29	1,75
5	20x29x5,8	5,86	3,93	1,47
6	20x29x6,0	6,095	4,21	1,56
7	20x29x6,1	6,202	4,61	1,59
8	20x29x6,3	6,488	5,19	1,68
9	20x29x5,8	5,867	4,00	1,45
10	20x29x6,0	6,121	4,10	1,59

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

Dosificación 40-60				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x5,5	4,267	1,46	0,24
2	20x29x5,5	4,283	1,43	0,25
3	20x29x6,1	4,339	2,27	0,28
4	20x29x5,8	4,266	1,66	0,26
5	20x29x6,0	4,214	1,97	0,27
6	20x29x5,6	4,296	1,53	0,24
7	20x29x5,9	4,396	1,90	0,27
8	20x29x5,7	4,369	1,80	0,26
9	20x29x6,2	4,317	2,44	0,28
10	20x29x6,1	4,399	2,44	0,28

Dosificación 25-10-65				
Ladrillo Macizo	Dimensiones [cm]	Peso [Kg]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	20x29x5,8	6,011	3,70	1,49
2	20x29x6,2	6,345	4,10	1,86
3	20x29x5,9	6,105	3,77	1,53
4	20x29x6,0	6,169	3,93	1,67
5	20x29x6,0	6,178	3,90	1,63
6	20x29x6,1	6,254	4,04	1,67
7	20x29x6,0	6,198	4,14	1,63
8	20x29x6,2	6,317	4,41	2,14
9	20x29x5,9	6,086	3,80	1,44
10	20x29x6,0	6,181	4,00	1,49

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

Resultados de Probetas Prismáticas de 4\*4\*16 cm

Dosificación 10-90			
Probeta prismática	Dimensiones [cm]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	4x4x16	0,89	0,65
2	4x4x16	0,59	0,70
3	4x4x16	0,78	0,59
4	4x4x16	0,81	0,65
5	4x4x16	0,84	0,65
6	4x4x16	0,75	0,70

Dosificación 15-85			
Probeta prismática	Dimensiones [cm]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	4x4x16	0,89	0,48
2	4x4x16	0,88	0,48
3	4x4x16	0,94	0,81
4	4x4x16	0,92	0,70
5	4x4x16	1,00	0,86
6	4x4x16	0,86	0,85

Dosificación 20-80			
Probeta prismática	Dimensiones [cm]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	4x4x16	1,64	0,59
2	4x4x16	1,19	0,65
3	4x4x16	1,27	0,59
4	4x4x16	1,26	0,70
5	4x4x16	2,26	0,59
6	4x4x16	1,40	0,54



Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Dosificación 25-75			
Probeta prismática	Dimensiones [cm]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	4x4x16	2,61	1,51
2	4x4x16	2,34	1,45
3	4x4x16	2,42	1,35
4	4x4x16	2,40	1,40
5	4x4x16	2,48	1,35
6	4x4x16	2,34	1,35

Dosificación 30-70			
Probeta prismática	Dimensiones [cm]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	4x4x16	2,51	1,67
2	4x4x16	2,59	1,67
3	4x4x16	2,40	1,66
4	4x4x16	3,29	1,67
5	4x4x16	3,07	2,15
6	4x4x16	3,10	1,78

Dosificación 20-10-70			
Probeta prismática	Dimensiones [cm]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	4x4x16	3,37	1,21
2	4x4x16	3,13	1,24
3	4x4x16	3,15	1,29
4	4x4x16	2,96	1,18
5	4x4x16	3,10	1,26
6	4x4x16	3,18	1,36

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
 Uso en viviendas sociales.

Dosificación 20-10-70 (Cemento CPC40)			
Probeta prismática	Dimensiones [cm]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	4x4x16	3,04	1,67
2	4x4x16	3,34	1,62
3	4x4x16	4,50	1,62
4	4x4x16	3,96	1,65
5	4x4x16	4,12	1,62
6	4x4x16	3,85	1,65

Dosificación 25-10-65			
Probeta prismática	Dimensiones [cm]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	4x4x16	5,09	1,31
2	4x4x16	4,55	1,54
3	4x4x16	4,18	1,39
4	4x4x16	4,36	1,36
5	4x4x16	4,71	1,60
6	4x4x16	4,99	1,45

Dosificación 40-60			
Probeta prismática	Dimensiones [cm]	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Flexión [MPa]
1	4x4x16	1,10	0,82
2	4x4x16	1,02	0,64
3	4x4x16	1,29	0,95
4	4x4x16	1,19	0,80
5	4x4x16	1,16	0,77
6	4x4x16	1,10	0,85

## Bibliografía

- Alonso, R., Viramonte, J.G., Gutiérrez, R. (1984). Puna Austral. Bases para el subprovincialismo geológico de la Puna Argentina. 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 43-63, Bariloche.
- Alonso, R., Viramonte, J. (1987). Geología y Metalogenia de la Puna. Estudios Geológicos, 43: 393-407.
- Aramayo, A., Burgos, L., Fernández, M. (2016). “Estudio de finos de perlita en la fabricación de ladrillos para su uso en viviendas sociales”, Tesis de Grado, Universidad Nacional de Salta, Argentina.
- Arias, L., Alderete, C., Mellace, R., Latina, S., Sosa, M., Ferreyra, I. (2006). Diseño y análisis estructural de componentes constructivos con tierra cruda. V Seminario Iberoamericano de Construcción con tierra; I Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con tierra. Mendoza, Argentina, 2006, ISBN 9789506920678, págs. 108-109.
- Bestraten, S., Hormias, E., Altemir, A. (2011). “Construcción con tierra en el siglo XXI”, Informes de la Construcción, 63(523): 5-20, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.10.046>.
- Burger, R. (2006). Interacción interregional entre los Andes Centrales y los Andes centro sur: el caso de la circulación de obsidiana. En historia andina, volumen 32. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- Cabrera, O.A. (2013). Caracterización de la durabilidad de hormigones con arenas de trituración. Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- Código de Minería. Ley Nacional N°1919
- Código de Procedimiento Minero. Ley Provincial N°7141
- Escalante García, J. (2008). Materiales alternativos al cemento Portland. Cinvestav. México.
- Escola, P., Hocsman, S. (2007). Procedencia de artefactos de obsidiana de contextos arqueológicos de Antofagasta de la Sierra (ca. 4500-3500 AP). Comechingonia 10: 49-58.
- Especificaciones de Mineral Crudo Pava Fino Clasificado Código: EsCPF-04 - Perfiltra S.A. - ISO9001/7. Realiz. Productos/Espec. Prod/EsCPF- 04.doc – 2008.
- Gallegos, H. (1993). Albañilería estructural, diseño y cálculo de muros. Fondo Editorial. Perú.
- Griem, W., Griem-Klee, S. (2009). Geología General. Apuntes. <http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral>.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Guía para la Durabilidad del Hormigón. Informado por el Comité ACI 201. ACI 201.2R-01.

Jamei, M., Guiras, H., Chtourou, Y., Kallel, A., Romero, E., Georgopoulos, I. (2011). Water retention properties of perlite as a material with crushable soft particles Engineering Geology. Volume 122, Issues 3–4, Pages 261-271.

Kadey, EL. Jr., (1983). Perlite. Industrial Minerals and Rocks, 5th ed., S.J. Izfond, cd., AIME, New York, pp. 997.1015.

Kay, S., Coira, B. y Viramonte, J.G. (1994). Young mafic back arc volcanic rocks as indicators of continental lithospheric delamination beneath the Argentine Puna Plateau, Central Andes. Journal of Geophysical Research 99: 323-339.

Moscoso, M. (2010). El adobe, sus características y el confort térmico, 71-75.

Recuperado de <https://www.eumed.net/libros-gratis/actas/2016/filosofia/El-adobeMoscoso.pdf>

Norma IRAM 1.504: Cemento Portland. Análisis químico.

Norma IRAM 1.536: Hormigón fresco de cemento. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono.

Norma IRAM 1.601: Agua para morteros y hormigones de cemento.

Norma IRAM 1.612: Cemento. Método de ensayo para la determinación de la consistencia normal.

Norma IRAM 1.619: Cemento. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado.

Norma IRAM 1.620: Cemento. Método de ensayo de la expansión en autoclave.

Norma IRAM 1.621: Cemento Portland. Método de ensayo de finura por tamizado húmedo.

Norma IRAM 1.622: Cemento Portland. Determinación de resistencias mecánicas.

Norma IRAM 1.623: Cemento Portland. Método de ensayo de finura por tamizado seco y por determinación de la superficie específica por permeabilidad al aire (método de Blaine).

Norma IRAM 1.651: Cementos. Método de ensayo de la puzolanicidad para los cementos puzolánicos.

Norma IRAM 11.601: Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.

Norma IRAM 12.566: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Parte 1: Macizos.

Norma IRAM 12.585: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción. Métodos de ensayo de las características geométricas.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Norma IRAM 12.586: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros.

Método de ensayo de resistencia a la compresión.

Norma IRAM 12.587: Ladrillos y bloques cerámicos para muros. Métodos de determinación de las características físicas. Ensayo a la flexión.

Norma IRAM 12.588: Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua por inmersión en agua fría y en agua hirviendo.

Norma IRAM 12.589: Ladrillos y bloques cerámicos para muros. Métodos de determinación de las características físicas. Resistencia a la intemperie. Capacidad de succión en ladrillos y bloques.

Norma IRAM 12.737: Mampostería de ladrillos y bloques cerámicos. Método para determinar la resistencia a la compresión de muros mediante el ensayo de pilas de mampostería.

Norma IRAM 50.000: Cementos. Cementos para uso general. Composición y requisitos.

Peccerillo, R., Taylor, J. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 58: 63-81.

Peccerillo, R., Taylor, J. (1976). Geochemistry of upper cretaceous volcanic rocks from the Pontic chain, Northern Turkey. *Bulletin Volcanologique*. 39: 557-569.

Quartino, B., Zardini, R., Llorente, A. (1971). Estudio geológico-económico de los yacimientos de perlitas Taurus y Anfitrize, Salar de Pocitos, Provincia de Salta. *Primer Simposio Nacional de Geología Económica*. 2: 337-350. San Juan.

Rashad, M. (2016). A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for Civil Engineer Construction and Building Materials. Volume 121, Pages 338-353.

Sastre, M. I., Suárez, O., González, M. (2012). Elaboración de ladrillos de suelo cemento con finos de perlitas. VIII Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras La Plata, Argentina.

Sastre, M. I., Cardozo, H., Burgos, L., Bazzi, M., Cruz, P., Chavez, F. (2014). Influencia de finos de perlita en distintas mezclas para la fabricación de Bloques. VI Congreso Internacional - 20a Reunión Técnica De La Asociación Argentina De Tecnología Del Hormigón.

Sastre, M. I., Suárez, O., González, M. (2008). Análisis de distintas dosificaciones para la elaboración de ladrillos con finos de perlitas. XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT Colombia.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

- Sitton, J. D., Zeinali, Y., Heidarian, W. H., & Story, B. A. (2018). Effect of mix design on compressed earth block strength. *Construction and Building Materials*, 158, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.005>
- Tykot, R. (1997). New directions in Central Mediterranean obsidian studies. *Antiquity* 71: 1000-1006.
- Tykot, R. (2002). Chemical Fingerprinting and Source Tracing of Obsidian: the central mediterranean trade in black gold. *Accounts of chemical research*, vol 35 (8): 618-627.
- Varum, H., Costa, A., Pereira, H., Almeida, J. and Rodrigues, H. (2008) Structural behaviour characterization of adobe walls, “Caracterização do comportamento estrutural de paredes de alvenaria de adobe”, *Revista Mecânica Experimental, APAET – Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões*, ISSN 1646-7078, Vol. 15, pp. 23-32 (in Portuguese)
- Varum, H., Costa, A., Martins, T., Pereira, H., Almeida, J., Silveira, D. (2007) Experimental Characterization of the Mechanical Behaviour of Adobe Bricks of Existing Constructions in Aveiro District. *Proceedings of the 13th Conference of Sociedade Portuguesa de Materiais and IV International Materials Symposium – A Materials Science Forum. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal*
- Villicaña Cupa M. A. (2014) Innovación en el diseño de concreto; empleo de puzolanas para incrementar la durabilidad. Tesis Maestría, Fac. Ing. Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
- Viramonte, J., Destefanis, H., Aparicio, A., Alonso, R., Marcuzzi, J., Cincioni, E., y Petrinovic, A. (1988). Caracterización y Beneficio de Perlitas del Noroeste Argentino”. *III Congreso Geología Argentino*.
- Viramonte, J.G., Galliski, M., Araña Saavedra, V., Aparicio, A., García Cacho, L., Escoya, M. (1984). El finivulcanismo básico de la Depresión de Arizaro, Provincia de Salta, República Argentina.
- Viramonte, J., Omarini, R., Araña Saavedra, V., García Cacho, L., Parica, P. (1984). Edad, génesis y mecanismos de erupción de las Riolitas granatíferas de San Antonio de los Cobres, provincia de Salta. *Noveno Congreso Geológico Argentino*. 3: 216-233. Bariloche.
- Viramonte, J., Galliski, M., Araña Saavedra, V., Aparicio, A., García Cacho, L., Escorza Martín, C. (1984). El finivulcanismo básico de la depresión de Arizaro, provincia de Salta. *Noveno Congreso Geológico Argentino*. 3: 234-251. Bariloche.
- Viramonte, J., Destéfanis, H., Aparicio Yague, A., Alonso, R., Marcuzzi, J., Cincioni, E., Petrinovic, I. (1988). Caracterización y Beneficio de Perlitas del noroeste argentino. *III Congreso Nacional de Geología Económica, Actas II*: 547–566, Buenos Aires.

Influencia de finos de perlitas para la fabricación de ladrillos y bloques.  
Uso en viviendas sociales.

Voluntarios En Asistencia Técnica, Inc. (1977). Fabricación De Bloques De Construcción Con La Prensa Cinva”. Mount Rainier, Maryland 20822 EE.UU.

Zanettin, B. (1984). Proposed new chemical classification of volcanic rocks. Episodes 7: 19-20.

Páginas consultadas de internet <http://www.perfiltra.com/>  
<http://www.perfiltra.com/products/index/perlome-agricultural-perlite>

<http://miningpress.com/club/266753/minerales-para-que-sirve-la-perlita-los-planedes-santa-cruz>

<https://www.energiaspatagonicas.com/mineria/salta-es-la-unica-provincia-que-le-da-importancia-a-la-explotacion-de-la-perlita/>

<http://miningpress.com/club/271214/escribe-ricardo-alonso-la-perlita-un-vidrionatural-salteno>

<https://www.dossierweb.com.ar/la-perlita-un-vidrio-natural-salteno/>

<http://www.perlite.org>

<http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/501/REGLAMENTO/501R.pdf>

<http://www.cormela.com.ar/docs/CIRSOC501E.pdf>

<http://www.ideassonline.org/tecnologias/V038.CINVA>

<http://takayadobes.blogspot.com.ar/2006/01/maquina-adobera-CINVA-Ram.html>

<http://www.imerys.com>