

LADRILLOS SUTENTABLES DE PERLITA CRUDA

Lucas Ramiro Burgos (lucasburgos@conicet.gov.ar); Ángel Oshiro (oshiroangel@gmail.com); María Inés Sastre (misastre@unsa.edu.ar); Héctor Cardozo (cardohj@gmail.com)

Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ingeniería (UNSa) - Arg.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN-FRC) - Arg.

Palabras clave: ladrillo, perlita cruda, residuo, sustentabilidad

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 de partículas menores a los 150 micrones. Con estos se elaboraron mampuestos cuya composición tiene un alto contenido de este residuo. El objetivo de este trabajo es realizar distintos ensayos siguiendo las normas IRAM, de resistencia a la flexión y compresión, absorción, succión capilar y conductividad térmica, para comparar los tradicionales adobes en contra posición de los ladrillos de residuo de perlita cruda. Los valores obtenidos tienen mejores características frente a los adobes, por ejemplo, una resistencia a la compresión de 3 MPa frente a los 1MPa que tienen los adobes.

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. Este fenómeno se debe en gran parte a la fuerte especialización de los distintos sectores industriales. 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. El trabajo 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 es llevado por los fuertes vientos tanto a la población existente de San Antonio de los Cobres como a otros lugares. De esta manera se logrará evitar problemas de salud en la población por la inhalación de partículas pasantes por el tamiz 100 las cuales son volátiles e involuntariamente respirables.

Desde la planta extractora de perlitas se extraen el material comerciable más el scrap (el cual es la perlita no comerciable) compuesto por las partículas menores de 150 micrones y polvillo el cual es menor que los 75 micrones. El residuo total de perlita es el resultante del 20 por ciento de la producción total de perlita, como se extraen 4 toneladas/hora de perlitas y se trabaja en 3 turnos de 8 horas, se extrae diariamente 96 toneladas de perlitas produciendo un residuo aproximado de 19 toneladas por día. Dicha cantidades favorecen notablemente la fabricación de ladrillos de perlita ya que cada uno de ellos necesita aproximadamente 3,5 kilos de residuo sobre 5 kilos totales de su peso, componiéndose el restante de cemento, cal hidratada y agua.

El trabajo se basa en verificaciones a través de ensayos normalizados de compresión, flexión, entre otros ensayos. Dicho estudio de investigación permitirá establecer si el material es apto para ser utilizado en la construcción de viviendas y las ventajas económicas y de salud que favorecerán a la población. Se realizaron estudios teórico-experimentales, por lo tanto se trabajó en el Laboratorio de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Salta, donde se ubicó la CINVA-Ram y se fabricaron ladrillos, los cuales fueron ensayados en el mismo laboratorio y en el laboratorio de CINTEMAC de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Córdoba. Un aspecto importante con respecto al gran ahorro de energía en la fabricación de este nuevo mampuesto, es la que este tipo de ladrillo se realiza sin exponer al elemento a una gran temperatura evitando la emisión de CO₂. Si se pudiera obtener un ladrillo proveniente de materiales de desecho y costo de producción bajo no sólo se obtendría un nuevo material, sino que este material sería mecánicamente producido por los propios usuarios.

Para sintetizar podemos decir que para llegar al OBJETIVOS de obtener un ladrillo para mampostería, se debió caracterizar las materias primas utilizadas para su fabricación e implementar un diseño experimental adecuado. El estudio se centra en la comparación con ladrillos de adobe ya que los mismos son característicos de la zona de San Antonio de los Cobres.

2. OBJETIVOS

El OBJETIVOS general es desarrollar ladrillos de perlitas, 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.

3. MATERIALES

3.1. Perlita

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. Hoy este mineral tiene un valor importante en el país: si bien en San Juan su consumo es alto, no se produce, pero en Salta están asentada 9 de las 10 compañías que la producen (la otra está en Mendoza), según un informe que publicó recientemente Mining Press [1]. 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.

3.2. Cemento

Se utilizó para este proyecto final cemento categorizado de acuerdo a Norma IRAM 50000 [2] como CPC 30, la elección del mismo se basa en que es el cemento más común en el mercado en la zona donde se realizarán los ladrillos de este trabajo. El CPC 30 es Cemento Portland Compuesto (filler calcáreo + escoria granulada de alto horno), con requisitos mecánicos de resistencia a la compresión para 28 días máxima 50 MPa.

3.3. Cal hidratada

La cal hidratada utilizada proviene de la Localidad de La Merced, Provincia de Salta. La cal que se produce en esta cantera es de gran calidad.

4. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

En todos los casos la dosificación del ladrillo de perlita en peso es de 20% cemento, 10% cal hidratada, 70% perlita cruda y relación agua/mezcla de 0,25, considerando la mezcla como la suma no solo de cemento y cal, sino además de perlita cruda.



Figura 1. Ladrillos de Perlita producido con una prensa manual CINVA RAM.

4.1. Resistencia a la compresión

La norma IRAM 12586 [3], 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 calcula la resistencia a la compresión de la probeta mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

En dónde:

- σ : es la resistencia a la compresión de la probeta en MPa.
- F: la carga máxima determinada.
- A: el área bruta aparente de cada probeta en mm².

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

$$\sigma'k = \sigma'km - (1 - 1.14\gamma) \quad (2)$$

En donde:

- $\sigma'k$: Es la resistencia característica a la compresión de la muestra en MPa.
- 1,14: 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.

$$\sigma'km = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{n} \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sigma'km} \sqrt{\frac{\sum (\sigma'km - \sigma_i)^2}{n - 1}} \quad (4)$$

En donde:

- n: es el número de probetas ensayadas.

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. 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, 2013) donde la resistencia promedio fue de 1,33 MPa.

Tabla 1. Resistencia a la compresión

Ladrillo	Dimensiones [cm]	Peso [kg]	Resistencia compresión [MPa]	Resistencia Característica a la compresión [MPa]
1	20x29x6,3	5,967	3,70	3,00
2	20x29x6,4	5,991	4,07	
3	20x29x6,1	5,783	3,49	
4	20x29x6,6	6,178	4,65	
5	20x29x6	5,508	3,22	
6	20x29x6,3	5,836	3,76	
7	20x29x6,3	5,896	3,90	
8	20x29x6,5	6,120	4,58	
9	20x29x6,5	5,608	4,58	
10	20x29x6,1	5,462	3,43	
11	20x29x6,3	5,623	3,66	
12	20x29x6,2	5,492	3,73	
13	20x29x5,7	4,892	3,43	

4.2. Resistencia a la flexión

La norma IRAM 12587 [4] da las pautas necesarias para realizar el ensayo a flexión.

Se calcula mediante la expresión siguiente:

$$MR = \frac{1}{10,204} * \frac{3}{2} * \frac{G * L}{b * d^2} \quad (5)$$

En donde:

- 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/cm cuadrado a MPa.

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 0,78MPa. Los adobes ensayados presentaron valores casi nulos a la resistencia a la flexión.

Tabla 2. Resistencia a la flexión

Ladrillo	Dimensiones [cm]	Peso [kg]	MR [MPa]	Resistencia Característica a la flexión [MPa]
1	20x29x6,3	5,967	0,79	0,78
2	20x29x6,4	5,991	0,87	
3	20x29x6,1	5,783	0,76	
4	20x29x6,6	6,178	1,01	
5	20x29x6	5,508	0,68	
6	20x29x6,3	5,836	0,84	
7	20x29x6,3	5,896	0,80	
8	20x29x6,5	6,120	0,96	
9	20x29x6,5	5,608	1,05	
10	20x29x6,1	5,462	0,72	
11	20x29x6,3	5,623	0,45	
12	20x29x6,2	5,492	0,76	
13	20x29x5,7	4,892	0,44	

4.3. 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 [5].

Se ensayaron 10 ladrillos con 28 días de maduración. Aplicando las fórmulas de la Norma IRAM, el valor de absorción fue de 20,136%. 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.

Tabla 3. Absorción

Ladrillo	Ms [kg]	Me [kg]	Ai [%]	Absorción Característica [%]
1	4,668	5,841	25,129	20,136
2	4,833	6,050	25,180	
3	4,857	6,031	24,171	
4	4,784	5,974	24,875	
5	4,692	5,879	25,293	
6	4,814	5,993	24,491	
7	4,601	5,784	25,712	
8	4,915	6,104	24,191	
9	4,860	6,047	24,424	
10	4,769	5,957	24,911	

4.4. Succión Capilar

La succión es la medida de la avidéz 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. Se considera que para succiones mayores de 40 gramos por minuto en un área de 200 cm², 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 12586, la cual habla sobre la capacidad de succión de ladrillos.

Se ensayaron 10 ladrillos con 28 días de maduración. Aplicando las fórmulas de la Norma IRAM, el valor de succión capilar fue de 0,814 gr/cm². 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.

Tabla 4. Succión Capilar

Ladrillo	Ms [kg]	Ma [kg]	Área [cm ²]	Succión Capilar [gr/cm ²]	Succión Capilar Característica [gr/cm ²]
1	4,668	5,258	580	1,017	0,814
2	4,833	5,225	580	0,847	
3	4,857	5,367	580	0,879	
4	4,784	5,414	578	1,090	
5	4,692	5,248	580	0,959	
6	4,814	5,381	582	0,974	
7	4,601	5,115	579	0,888	
8	4,915	5,492	584	0,988	
9	4,860	5,438	582	0,993	
10	4,769	5,280	578	0,884	

4.5. Conductividad Térmica

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. Para el mismo se prepararon unas placas cuadradas de 30x30 cm con un espesor aproximado de 4,5 cm. Por lo tanto en el laboratorio de la UNSa se elaboró un molde de madera para poder obtener las muestras con las medidas necesarias. 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 y para verificar esto, se compararon las densidades de ambas.

La Conductividad térmica para los ladrillos en estudio fue de 0.764 [W/°C.m].

Algunos de los valores de conductividad térmica de los adobes, analizados por diversos autores en función de la densidad (Cutíño; Esteves; Maldonado; Rotondaro, 2015).

Tabla 5. Conductividad Térmica de adobes

Densidad [kg/m ³]	Conductividad Térmica [W/°C.m]
750	0,20
1200	0,46
1650	0,82

4.6. Pila de ladrillos

La resistencia de la albañilería a compresión, tracción y corte 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.

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

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.

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

El ensayo se realiza en una maquina universal de compresión, aplicando un ritmo de carga controlado hasta que el espécimen no admite mas 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 solidas de unidades huecas rellenas con concreto liquido o de unidades tubulares. El área será la neta para unidades huecas o perforadas. La prueba consistirá en por lo menos dos ensayos, preferentemente tres.

Se ensayaron 4 pilas de ladrillos con 28 días de maduración. Aplicando las fórmulas de la Norma IRAM 12737 [6], el valor de resistencia a la compresión fue de 2,775 MPa.

Tabla 6. Resistencia a compresión de pilas de ladrillos

Pila de ladrillo	Carga [kg]	Área [cm ²]	σ_m [MPa]	σ_{mh} [MPa]
I	13910	580	2,398	2,775
II	15890	580	2,740	
III	17090	580	2,947	
IV	17480	580	3,014	



Figura 2. Pila de ladrillos producido con una prensa manual CINVA RAM.

4.7. 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 a continuación:

$$E_m = 850f'_m \quad (6)$$

- E_m = es el módulo de elasticidad longitudinal de la mampostería en MPa.
- f'_m = es la resistencia especificada a compresión de la mampostería.

Aplicando las fórmulas de la Norma IRAM 12566-1 [7], el valor del Módulo de elasticidad de la mampostería fue de 2363 MPa.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que los ladrillos de perlita presentan características aceptables, y con esto se refiere a que presenta no solo un bajo coeficiente térmico, sino también a su buena resistencia, durabilidad, absorción y succión capilar con respecto al mampuesto de comparación, que es el adobe. Podemos mencionar así también la textura 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 estas dosificaciones, que es la esencia de la ingeniería, continuar mejorando.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- <http://www.miningpress.com/nota/22495/salta-duplico-su-exportacion-de-perlita>
- IRAM 50000 Cemento para uso general. Primera edición 2000
- IRAM 12586 Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros. Método de ensayo de resistencia a la compresión. Segunda edición 2004.
- IRAM 12587 Ladrillos y bloques cerámicos para muros. Métodos de determinación de las características físicas. Ensayo a la flexión. 2013.
- IRAM 12588 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. 2006.
- IRAM 12737. Mampostería de ladrillos y bloques cerámicos. Método para determinar la resistencia a la compresión de muros mediante el ensayo de pilas de mampostería. 2005.
- IRAM 12566-1. Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de tabiques y muros. Parte 1: Macizos. 2005
- Aramayo, A., Burgos, L., Fernández, M. (2014) Estudio de finos de perlita en la fabricación de ladrillos para su uso en viviendas sociales. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Argentina.
- Cutiño, G; Esteves, A; Maldonado, G; Rotondaro, R. (2015) Análisis de transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. Informes de construcción. ISSN-L: 0020-0883
- Gallegos, H. (1993). Albañilería estructural. Diseño y cálculo de muros – Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Sastre, M; Suárez, O; González, M. (2013) Análisis de distintas dosificaciones para la elaboración de ladrillos con finos de perlitas. Congreso Internacional de Patología. ISBN 978-958-58090-0-0

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta y a CINTEMAC de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba.