



**Universidad de Belgrano
Facultad de Ingeniería**

“Bloque fabricado de cemento, botellas PET,
arena natural y volcánica, con alto aislamiento
térmico”

Trabajo Final de Carrera de: Ramiro Boschín Schuller.

Tutora: Arq. Beatriz Bargiela.

Carrera: Ingeniería Civil.

Matrícula: 801-07447

Año académico: 2019

Presentación: Ciudad de Buenos Aires, 8 de septiembre de 2020.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: Marco teórico	4
1.1. Arquitectura sustentable	4
1.2. Diseño sustentable en arquitectura y edificación	4
1.3. Ladrillos y bloques ecológicos.....	5
1.3.1. Ladrillo tradicional	5
1.4. Cemento Portland	8
1.4.1. Fraguado	9
1.5. Agua potable en la construcción	9
1.5.1. Relación agua/cemento	10
1.6. Evolución del bloque de hormigón	12
1.7. Bloques huecos portantes de hormigón.....	13
1.8. Arena	13
1.8.1. Tipos de arenas	13
1.8.2. Clasificación de las arenas	14
1.8.3. Ventajas de la arena volcánica	14
1.9. Botellas PET	15
1.9.1. Disponibilidad	16
1.10. Aislamiento térmico.....	17
1.11. Conductividad térmica.....	18
1.12. Resistencia térmica.....	19
1.13. Procesos de transferencia de calor.....	19
1.14. Puente térmico.....	19
Capítulo II: Pasos previos.....	21
Capítulo III: Materiales y geometría	23
3.1. Elementos y materiales	23
3.2. Composición del bloque térmico	27
Capítulo IV: Fabricación del bloque térmico.....	29
4.1. Etapa preliminar	29
4.2. Etapa de selección de proporciones	31
4.3. Etapa de ejecución del bloque térmico	33

4.4. Etapa de desmoldado y características finales	37
Capítulo V: Ensayo.....	40
5.1. Ensayo de Aislación térmica	40
5.2. Funcionamiento del Ensayo	42
5.3. Mediciones día 1	42
5.4. Mediciones día 2	45
5.5. Mediciones día 3	47
5.6. Mediciones día 4	49
5.7. Promedio Final de mediciones	52
Capítulo VI: Cantidades y Costos	55
6.1. Cantidad de unidades por m ²	55
6.2. Costo del bloque	55
Conclusión.....	57
Bibliografía.....	59

Introducción

En los últimos años se ha producido un gran incremento de los residuos urbanos debido al aumento de diversas actividades humanas. Esto se ve reflejado por la mala disposición que actualmente existe de los desechos, ocasionando problemas de contaminación tanto en el suelo, aire y agua.

A lo largo de la evolución humana, se ha buscado mejorar la manera en la cual se lleva a cabo la construcción, ya sea con el fin de mejorar la resistencia de la estructura, la facilidad de montaje y, también, la terminación estética.

A partir de finales del Siglo XX, se comenzó a tomar conciencia de la contaminación ambiental y de cómo, el ser humano es responsable en la manera en la cual se perjudica al planeta. Dicho esto, empieza a surgir un nuevo paradigma, el cual busca combinar la metodología de construcción, ya completamente aceptada, con métodos ecológicos y estructurales que eviten la contaminación global.

Esta investigación tratará de encontrar las bases que permitan fabricar una nueva pieza constructiva, que pueda ser utilizada para la ejecución de obras pequeñas o situaciones a baja escala, que así lo requieran.

El procedimiento por realizar será de forma manual por parte de la persona que desarrolla esta Tesina. Se buscará fabricar, a través de moldes, bloques térmicos geométricos de 28 x 15 x 9 cm, que cumplan con las reglamentaciones vigentes, utilizando dos tipos de arenas y botellas PET de 500 ml, colocadas de forma horizontal dentro del bloque.

Además, se buscará construir dos cámaras aislantes, una con bloques térmicos y, otra con ladrillos de arcilla tradicionales. Esto permitirá realizar el ensayo de aislación térmica y, así, demostrar que, debido al plástico y la arena, se puede generar un bloque térmico superior, frente a su competencia.

Es fundamental incursionar en nuevas tecnologías que sirvan de impulso para promover procesos constructivos ecológicos. Las botellas PET que circulan en el

país son un material no biodegradable. Es por esto por lo que la nueva aplicación las incluirá en su fabricación, para darle un mejor aprovechamiento.

Objetivos

- Implementar una alternativa de mampuestos.
- Determinar la variación térmica entre el ladrillo tradicional de arcilla y el bloque térmico.
- Decidir si es conveniente el uso del nuevo bloque en situaciones específicas, que así lo requieran.
- Evaluar el costo de fabricación del bloque térmico.

Alcance

Esta Tesina se enfocará en diseñar y ejecutar un bloque térmico compuesto con botellas PET, arena natural y arena volcánica. Se evaluarán las proporciones de cada uno de los componentes, cumpliendo con la reglamentación establecida en las Normas Nacionales IRAM 12561. Además, se compararán las características aislantes del bloque térmico y del ladrillo tradicional de arcilla para, finalmente, establecer el costo en el mercado.

Organización del documento

Se presentará, en primer lugar, el marco teórico necesario para la comprensión de las propiedades de cada material utilizado y del ensayo a realizar. Seguidamente, se comentará el proceso de ejecución del bloque fabricado y, luego, se lo someterá al ensayo de aislación térmica. Se analizarán los resultados obtenidos frente al ladrillo tradicional de arcilla, para, finalmente, evaluar su costo de fabricación y realizar un cierre de la Tesina con una conclusión general.

Además, en la presente investigación, se buscó desde un comienzo planificar y ejecutar un plan de trabajo, cuyo fin sería generar un orden de cada una de las etapas de desarrollo del bloque térmico, estimando un período de tiempo a las actividades para, así, lograr un desarrollo ordenado, destinando a éstas un período de investigación establecido.

Se estableció el siguiente cronograma:

Cronograma de trabajo

Cronograma de trabajo		
Actividad	Inicio de actividad	Fin de actividad
Arqueo bibliográfico	1/11/2019	15/1/2020
Complementos marco teórico	1/11/2019	15/1/2020
Investigación de ensayos	22/11/2019	15/1/2020
Fabricación del molde	16/1/2020	31/1/2020
Fabricación del bloque	1/2/2020	24/2/2020
Realización de los ensayos	25/2/2020	6/3/2020
Procesamiento de datos	7/3/2020	15/3/2020
Análisis de resultados	16/3/2020	24/3/2020
Redacción del borrador	24/3/2020	23/6/2020
Revisión y corrección	23/6/2020	6/7/2020
Desarrollo final	7/7/2020	8/9/2020
Entrega documento final	8/9/2020	8/9/2020

Capítulo I: Marco teórico

1.1. Arquitectura sustentable

La arquitectura sustentable consiste en la creación de espacios habitables, desde la etapa de diseño, hasta la edificación. En ella, se aplican los criterios y premisas para establecer el desarrollo sustentable, es por ello por lo que, los recursos naturales, económicos y humanos se manejarán buscando reducir el daño ambiental, los gastos energéticos y el consumo de agua. Esto permitirá que dentro de la edificación, se produzca sensación de confort y, de la misma manera, que se respete el entorno que la rodea. (Hernandez Moreno, 2008)

1.2. Diseño sustentable en arquitectura y edificación

De acuerdo con lo establecido por Hernández Moreno, el diseño sustentable se trata de una gestión de creación en la cual se buscarán aplicar los siguientes criterios:

- Disminución de los gastos en los recursos naturales.
- Disminución de la contaminación del suelo, aire y agua.
- Mejora en el confort y calidad del interior del edificio.
- Disminución de los desechos, producto del proceso de ejecución del edificio.
- Disminución de los desechos industriales producidos por la fabricación de materiales constructivos no inocuos y del equipo, para la edificación.

Seguidamente, se enumeran cada una de las etapas del proceso de creación del diseño sustentable:

1. Prediseño: En esta etapa se realizarán las primeras consideraciones del proyecto.
2. Fase de anteproyecto: Se buscará realizar un estudio de las propuestas creadas en la fase preliminar. Además, se tenderá a un diseño ordenado y con los elementos básicos en la ejecución de la construcción.
3. Desarrollo del proyecto: En esta fase, se definirán los planos y documentos fundamentales en la creación del proyecto.

4. Documentos y estudios para la construcción: Se comenzará a determinar el resto de la documentación y de los estudios realizados, para así, implementar el desarrollo sustentable del proyecto.
5. Fase de construcción: Esta etapa corresponde al final del proyecto. Aquí se ejecutará la obra, de acuerdo con la investigación realizada en las fases anteriores.

Actualmente, la sustentabilidad ha logrado captar gran interés e importancia en los últimos años. Esto se ha visto reflejado no solamente en la construcción, sino que también, en diversas actividades humanas, convirtiéndose así, en una política de desarrollo de cada país.

Principalmente en ingeniería, los avances ecológicos y de diseño sustentable ya no son una idea pasajera, sino que, se han convertido en criterios profesionales que son necesarios aplicar e implementar en proyectos constructivos. Estos criterios buscan trabajar de manera sistémica, facilitando así, su versatilidad y funcionalidad en cada aspecto que se trate, tanto en el proceso de formación del ingeniero, como a lo largo de su vida profesional. (Hernandez Moreno, 2008)

1.3. Ladrillos y bloques ecológicos

“Los ladrillos y bloques ecológicos están contruidos con materiales que no degradan el medio ambiente y cuya fabricación también es respetuosa con éste, en contraposición a los habituales, cuya fabricación y materiales no es tan inocua”. (Ladrillos Ecológicos, Ventajas y Desventajas, 2012)

Sus características son similares a los que, normalmente, se emplean para la construcción. Además, estos se encuentran sometidos a gran cantidad de ensayos para determinar su viabilidad, por lo tanto, la utilización no se verá reflejada en pérdida de calidad en la estructura.

1.3.1. Ladrillo tradicional

“Un ladrillo es un material de construcción, normalmente cerámico o de arcilla, con forma ortoédrica, cuyas dimensiones permiten que se pueda colocar con una sola

mano por parte de un operario. Se emplea en albañilería para la construcción, en general". (Neyra Huamani, 2016)

Actualmente, en el mercado se presentan diferentes formatos de ladrillos de arcilla, destacándose el formato métrico, cuyas dimensiones son de 24 x 11.5 x 5.25 / 7 / 3,5 cm, mientras que, el formato que se estudiará en esta Tesina será de 25 x 15 x 5 cm.

Presentan una geometría de prisma rectangular, en la que se reconoce su largo con la denominación de sogá, su ancho como tizón y su altura como grueso, siendo que, la sogá será su dimensión mayor. De la misma manera, cada una de las caras del ladrillo se identifican como tabla, canto y testa. (Neyra Huamani, 2016)

Generalmente, la sogá será el doble de la longitud que presente el tizón, o también, podrá ser dos tizones más una junta. Esto permitirá que se puedan combinar libremente en la construcción. (Neyra Huamani, 2016)

A continuación, se muestra una representación gráfica del ladrillo tradicional de arcilla:

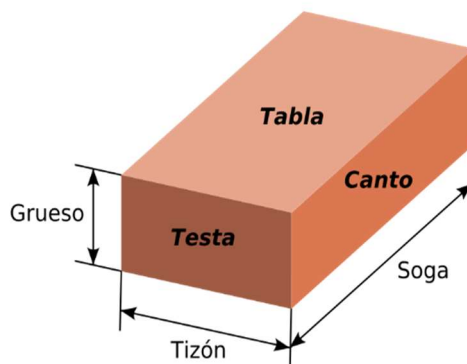


Imagen: Ladrillo tradicional.

El proceso de elaboración de un ladrillo de arcilla, de acuerdo con lo establecido en la empresa Bloques Cando (Proceso De Fabricación Del Ladrillo, 2015), se compone de las siguientes etapas:

1. **Extracción de la materia prima:** El primer paso consiste en la obtención y transporte de la arcilla hasta las industrias de producción de los ladrillos.
2. **Maduración:** Luego de la extracción, la arcilla se somete a procesos de trituración, homogenización y reposo, con el objetivo de lograr una apropiada consistencia y uniformidad en las características deseadas.
3. **Tratamiento mecánico previo:** En esta etapa se buscará purificar y refinar la materia prima extraída. Para realizar este procedimiento se utilizan los siguientes instrumentos:
 - Eliminador de piedras: Se utiliza para separar los terrones de las piedras.
 - Desintegrador: Encargado de moler los terrones de dimensiones mayores, más resistentes y compactos.
 - Laminador refinador: Desmenuzador de los últimos nódulos que se encuentren presentes en el material extraído.
4. **Depósito de materia prima procesada:** El material se homogeniza de forma física y química y, luego, es depositado en silos especiales y techados.
5. **Humidificación:** La arcilla depositada es retirada y transportada a un laminador refinador para, finalmente, colocarla en un mezclador humedecedor. En este último paso, se le agrega agua hasta obtener la humedad deseada.
6. **Moldeado:** Se hace pasar la arcilla a través de una boquilla, con el fin de obtener la forma de la pieza requerida. Esta etapa se realiza a altas temperaturas y, se utiliza vapor saturado a aproximadamente 130°C y, a presión reducida. Se buscará con este procedimiento obtener como resultado una humedad uniforme y una masa compacta.
7. **Secado:** En esta fase se determinará el resultado final y la calidad del material. Se eliminará el agua agregada durante la fase de moldeado para,

finalmente, realizar la cocción del ladrillo de arcilla. Dicho esto, su correcta ejecución será determinante en el proceso de producción.

8. **Cocción:** La cocción se logra a través de hornos con forma de túnel a altas temperaturas, aproximadamente entre 900°C y 1000°C. El ladrillo se colocará en el interior, donde la temperatura varía, de forma continua y uniforme. En este proceso se produce la sinterización¹, la cual determinará la resistencia del ladrillo.
9. **Almacenaje:** Se envuelven los paquetes con cintas de plástico o metal, permitiendo así, facilitar su transporte hasta los lugares de destino, evitando fisuras y/o rajaduras del ladrillo. (Proceso De Fabricación Del Ladrillo, 2015)

1.4. Cemento Portland

“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 después de ponerse en contacto con el agua”. (Elster, 1991)

El Ingeniero Elster establece que, la molienda de estas rocas se llama Clinker y, se le agregará una pequeña cantidad de yeso, para que no se produzca la contracción de la mezcla al fraguar y, en su posterior endurecimiento. Este resultado final se lo conocerá como cemento y, se mezclará con agregados pétreos (grava y arena) creando una mezcla uniforme, maleable y plástica. Con la propiedad de fraguar y endurecerse. (Elster, 1991)

El proceso de fabricación del cemento comprende a las siguientes etapas:

1. Extracción y trituración de la materia prima.
2. Homogenización de la materia prima.
3. Producción del clinker.
4. Molienda del clinker con yeso.
5. Empaque en bolsas.

¹ Compactar a alta presión varios polvos metálicos y/o cerámicos mezclados homogéneamente.

Existen dos tipos básicos de cemento:

1. **Origen arcilloso:** Se logran combinando arcilla y piedra caliza, utilizando una relación aproximada de uno a cuatro.
2. **Origen puzolánico:** Históricamente, producidos por materiales silíceos o aluminio – silíceos. Se pueden obtener por origen orgánico o volcánico. Actualmente se considera a este tipo de cemento un eco material.

1.4.1. Fraguado

El fraguado consiste en el proceso de solidificación y pérdida inicial de plasticidad que tiene lugar en el hormigón, por la desecación y cristalización.

Se encuentra caracterizado por los tiempos de fraguado, denominados como, inicio y fin de fraguado. Se establece inicio de fraguado al momento en el cual la pasta, que es una suspensión viscoelástica-plástica, con escasa resistencia al corte, se convierte en un sólido viscoelástico-plástico con una mayor resistencia al corte. Es decir, el punto en el cual la mezcla, no será trabajable en obra. Asimismo, el fin del fraguado será cuando se produzca el endurecimiento. (Gabalec, 2008)

Para facilitar su manejo en obra es posible añadirle aditivos, que funcionan como retardantes o acelerantes del tiempo de fraguado.

1.5. Agua potable en la construcción

En el proceso de elaboración de hormigón y mortero, el agua que se utilice debe ser apta para consumo humano. No debe contener sustancias contaminantes como aceites, ácidos, soluciones alcalinas o materias orgánicas.

“En el caso de tener que usar en la dosificación del hormigón, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable”. (Tecnología de los Materiales, 2014)

En general, según lo establecido por el INTI, el agua que contenga menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales, podrá ser utilizada para la

elaboración de hormigón, mientras que, el agua que contenga más de 2000 ppm de sólidos disueltos será sometida a ensayos con el fin de determinar la resistencia y el tiempo de fraguado, que con ella será empleado. (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2001)

1.5.1. Relación agua/cemento

La relación agua/cemento conocida como A/C, es la proporción utilizada para obtener las diferentes mezclas, tanto para los morteros como también hormigones.

Es un parámetro fundamental en el proceso de fabricación del hormigón, el cual tiene influencia sobre su resistencia, durabilidad y retracción, como también, del coeficiente de fluencia. Finalmente, determinará el resultado final de la mezcla endurecida.

Se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{A}{C}$$

Donde:

R: Relación agua / cemento.

A: Masa del agua del hormigón fresco.

C: Masa del cemento del hormigón.

La dosificación agua/cemento relaciona el peso del agua y el peso de cemento que se utiliza en una mezcla de hormigón. Tiene gran importancia en la calidad del material que será producido, ya que, con una relación más eficiente, obtendremos un hormigón con mayor resistencia y durabilidad.

En el caso de que el agregado de agua no sea el correcto, se producirán las siguientes consecuencias en el resultado final:

- La elevada colocación de agua se verá reflejada en la segregación de la arena y piedra de los componentes. La piedra se asentará en la parte inferior y la arena quedará en la parte superior. Además, el agua en exceso no será

consumida en la hidratación final de la mezcla, la cual terminará abandonando el hormigón cuando éste se endurezca, lo que resultará en poros microscópicos que reducirán la resistencia del mismo.

- La escasez de agua ocasionará una mezcla con una mayor resistencia, aunque esto puede provocar que los materiales no se unan en su totalidad, perjudicando el resultado final de la resistencia y durabilidad, ya que se obtendrá un hormigón con pequeños poros de mezcla no unificada que frente a una pequeña carga se romperán.

En la siguiente figura del blog de ingeniería Civilgeeks (Relación Agua - Cemento, 2017), observamos una curva que relaciona la resistencia a compresión del hormigón frente a la relación agua/cemento.

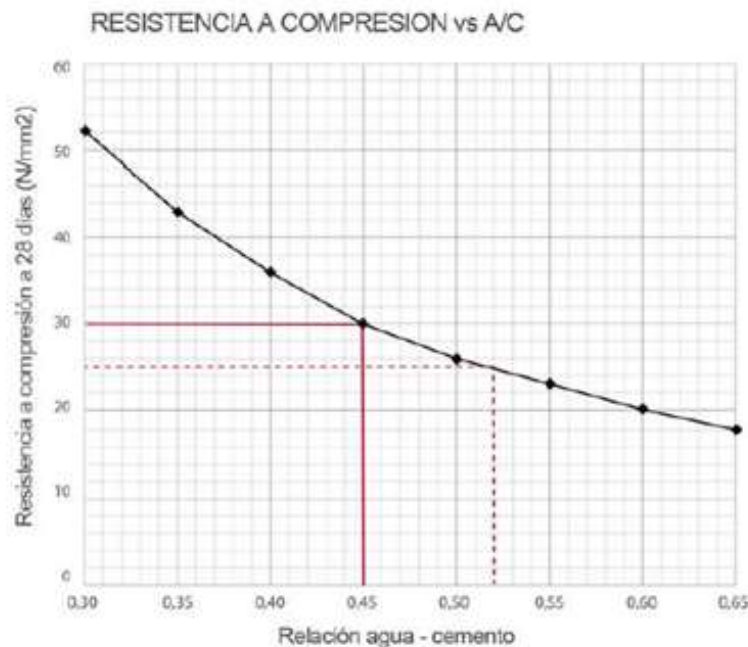


Imagen: Resistencia a compresión Vs A/C.

Se nota claramente que la relación A/C de 0,3 es el valor óptimo para alcanzar el mayor grado de resistencia a la compresión del hormigón. Mientras que, a medida que la relación aumenta, dicha curva comienza a decrecer bajando la calidad de la mezcla, aunque, de todas formas, en obra se preverá alcanzar una relación de 0.45, la cual resulta suficiente para cumplir con los requisitos normativos vigentes.

1.6. Evolución del bloque de hormigón

Durante el Imperio Romano, con la finalidad de dar forma a las piedras utilizadas en los edificios, aproximadamente a principios del año 200 a.C, se comenzó a emplear el mortero de hormigón. El cual resultó ser el inicio para que, durante el reinado del emperador romano Calígula, en el año 37-41 d.C, comenzarán a surgir pequeños bloques de hormigón prefabricados, es decir, piezas constructivas ya ejecutadas, utilizadas como material de construcción. (Marco Histórico De Los Materiales, 2012)

De todas formas, con la caída de su imperio, en el siglo V, se perdió gran parte de su tecnología y, fue durante el año 1824 que el inglés Joseph Aspdin desarrolló el cemento Portland, el cual se transformó en el componente principal en la mezcla de hormigón. (Marco Histórico De Los Materiales, 2012)

El primer bloque de hormigón diseñado luego del Imperio Romano fue hecho por Harmon Palmer en 1890, en los Estados Unidos, y se logró patentar en el año 1900. Las primeras piezas contaban con un gran tamaño. Las medidas exactas eran de 20.3 cm x 25.4 cm x 76.2 cm, las cuales eran tan pesadas que debían colocarse en su sitio con una grúa pequeña. Se utilizaba la cal como material cementante y, fue durante la introducción del cemento Portland, cuando se comenzaron a abrir nuevos horizontes en la industria. (Marco Histórico De Los Materiales, 2012)

Aproximadamente, durante el año 1905, se estima que alrededor de 1.500 empresas se encontraban fabricando bloques de hormigón en los Estados Unidos, los cuales se realizaban a mano y su producción era limitada, pudiéndose elaborar un promedio de 10 bloques por hora. (Bloques De Concreto, 2020)

En el año 1911, se comenzó a utilizar el primer proceso industrial para la fabricación de bloques de hormigón en Estados Unidos, siendo patentado por su creador original, Harmon Palmer. Se adoptó una medida normalizada de 19 cm x 19 cm x 39 cm, la misma que es utilizada en todo el mundo. (Historia Del Bloque de Hormigón, 2017).

Luego de establecer el primer proceso industrial, su desarrollo ha contado con innumerables mejoras, tanto en su diseño como en nuevas aplicaciones. Esto

generó que el bloque de hormigón se convierta en uno de los principales elementos constructivos. Además, las mejoras lograron aumentar la resistencia a la compresión de este y, también, reducir sus paredes interiores disminuyendo su peso. (Historia Del Bloque de Hormigón, 2017).

En nuestro país, luego de la incorporación y el estricto cumplimiento de las Normas IRAM, se produjo el mayor avance en la aplicación de los bloques de hormigón, potenciados por empresas que invirtieron en equipos de última tecnología.

1.7. Bloques huecos portantes de hormigón

Los bloques huecos portantes de hormigón deberán cumplir con la Norma IRAM 12561 (Reglamento Cirsoc 501–E, 2007) y con las modificaciones que se especifican a continuación:

- El ancho del bloque (espesor sin revoques) será, como mínimo igual a 120 mm.
- La sección según cualquier plano paralelo a la superficie de asiento del bloque deberá tener un área neta no menor que el 40% del área bruta correspondiente.
- La resistencia característica a la compresión bruta mínima debe ser de $f_u = 5,0$ MPa.
- La altura de los mampuestos no será mayor que $2/3$ de su longitud, con excepción de los medio mampuestos, utilizados en los bordes verticales de los muros, para obtener la trabazón correspondiente.

1.8. Arena

La arena se produce de forma natural o artificial, por la desintegración de las rocas. Se encuentra compuesta por un conjunto de fracciones sueltas de rocas o minerales de pequeño tamaño. Sus dimensiones varían entre 0.02 mm y 6 mm y, pueden tener diversas formas de granos o partículas redondas.

1.8.1. Tipos de arenas

De acuerdo con lo establecido por la empresa de cemento Cibao, se establece la siguiente lista de arenas:

- Arena natural: Son obtenidas mayormente de ríos y cantos rodados, producto de la disgregación natural de las rocas. Las que cuenten con sílice o cuarzo serán de mayor calidad.
- De mina: Se encuentran en el interior de la tierra, formando capas. Son de forma angular.
- De playa: Debido a que contienen sales y restos orgánicos, es necesario un proceso de lavado con agua dulce.
- Volcánica: Adquieren una resistencia igual a la del hormigón cuando se las mezcla con cal. Se utilizan, generalmente, para fabricar tabiques o bloques. (Arena, Tipos y Clasificaciones, 2017)

1.8.2. Clasificación de las arenas

Por su composición química:

- Cuarzosas: Cuando el cuarzo es el material predominante.
- Silíceas: Cuando los silicatos o feldespatos son los materiales predominantes. Por ejemplo: Arena de río.
- Calcárea: Cuando la caliza es el material predominante. (Arena, Tipos y Clasificaciones, 2017)

Por el tamaño de sus granos

- Arenas gruesas: Son aquellas que atraviesan una malla de 6 mm y son retenidas por otra de 2 mm.
- Arenas medias: Son aquellas que atraviesan una malla de 2 mm y son retenidas por otra de 0.5 mm.
- Arenas finas: Son aquellas que atraviesan una malla de 0.5 mm y son retenidas por otra de 0.02 mm. (Arena, Tipos y Clasificaciones, 2017)

1.8.3. Ventajas de la arena volcánica

La arena volcánica debido al tamaño de sus granos es considerada una arena gruesa. Sus partículas varían de 2 mm a 6 mm permitiendo, así, contar con algunas ventajas y particularidades que serán expuestas a continuación:

- Aislante térmico: Al ser comparada con otras arenas se demostró que la misma reduce, de una manera más eficiente, la transmisión de calor o frío.
- Liviana: Debido a su origen y, al estar compuesta por roca volcánica, de todas formas, esto no afecta la resistencia de la misma.
- Aislante del fuego: Es un tipo de material ignífugo.
- Reduce costos: Al ser un tipo de arena más liviana, facilita el transporte y, por lo tanto, los costos de operación. (Arena Volcánica, 2010)

1.9. Botellas PET

“El PET es un polímero lineal, con un alto grado de cristalinidad, cuyo comportamiento termoplástico lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado”. (Durán, 2010)

Actualmente, un amplio porcentaje de las botellas plásticas que circulan en el país se encuentran fabricadas por PET, el cual está compuesto por petróleo crudo, gas y aire.

Aproximadamente, en un kilo de PET se presentan las siguientes proporciones de materiales:

- 64% de petróleo.
- 23% de derivados.
- 13% de aire.

Presenta como características más relevantes:

- Buena resistencia química y térmica.
- Alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.

Seguidamente, se muestra una imagen de una botella elaborada con PET.



Imagen: Botella elaborada con plástico PET.



Imagen: Símbolo indicador de que el PET es reciclable.

1.9.1. Disponibilidad

Este trabajo de investigación surge de la necesidad de construcción que actualmente existe en Argentina y, a su vez, la oportunidad de lograr nuevas piezas constructivas combinando metodologías antiguas con problemas actuales.

A continuación, se muestran datos estadísticos del consumo y reciclado de los diferentes plásticos que existen en nuestro País:

Polímero	Consumo aparente [t]	Reciclado	
		%	t
PEAD	244.968	14%	34.300
PEBD	170.802	13%	22.200
PEBDL	232.951	13%	30.300
PP	340.642	14%	47.700
PET	196.396	25%	49.100
PS CyAl	61.896	10%	6.200
PVC	151.777	5%	7.600
Total	1.399.432	14%	197.400

Imagen: Consumo de plásticos. (Cairplas, 2018)

Se puede observar que de 196.396 toneladas solo un 25% es reciclado, dejando una libre circulación de gran cantidad de este tipo de polímeros en el país. De todas formas, los datos obtenidos corresponden a la totalidad de elementos fabricados con PET, y no específicamente a las botellas de 500 ml que se utilizarán en nuestros bloques térmicos, aunque dado el elevado porcentaje que no se recicla, se considera que no existirán problemas en la obtención del material.

Dichos valores permiten visualizar la cantidad de PET que actualmente no se recicla en Argentina. Esto se debe principalmente a las malas políticas de reciclaje y al bajo incentivo social.

Asimismo, aquello ha provocado que la acumulación de este material se haya incrementado en los últimos años y, se cree que, de no aplicarse métodos más estrictos de reciclaje, en un futuro la contaminación será irreversible.

1.10. Aislamiento térmico

El aislamiento térmico se basa en procedimientos y materiales, que, de forma conjunta, se utilizan en las construcciones para dividir los espacios climatizados del exterior y, así, moderar la transmisión térmica entre ellos.

Actualmente, se encuentran gran cantidad de situaciones en el diseño cuyo fin es reducir el flujo de calor. Estos casos se presentan principalmente en viviendas y/o edificios que buscan minimizar la pérdida de calor en el invierno y las ganancias en verano.

Para lograr el aislamiento térmico, los materiales empleados deben contar con una conductividad térmica baja. “En la mayoría de los casos, esto se logra atrapando aire o algún otro gas dentro de cavidades pequeñas en un sólido, pero en ocasiones se puede producir el mismo efecto llenando el espacio, a través del cual se debe reducir el flujo de calor, con partículas sólidas y atrapando aire entre ellas”. (Principios de Transferencia de Calor, 2012)

Se determina que este tipo de materiales utilizan la conductividad inherentemente baja de los gases, para así inhibir el flujo de calor. Aunque, debido a que los gases

son fluidos, esto ocasiona que, por convección natural, se pueda transmitir el calor dentro de las bolsas de aire y, también, por radiación entre las paredes sólidas del recinto. (Principios de Transferencia de Calor, 2012)

En conclusión, los materiales aislantes no presentan una propiedad de conductividad propia, sino que, su resultado es una combinación de mecanismos de flujo de calor. (Principios de Transferencia de Calor, 2012)

1.11. Conductividad térmica

“La conductividad térmica K es una medida de la velocidad con la cual se transfiere el calor a través de un material, y es una propiedad sensible a la microestructura. La conductividad se relaciona con el calor Q que se transfiere cada segundo a través de un plano de área A cuando existe un gradiente de temperatura $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ ” (Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 2004)

Se define de la siguiente manera:

$$\frac{Q}{A} = K * \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

A continuación, se demuestra:

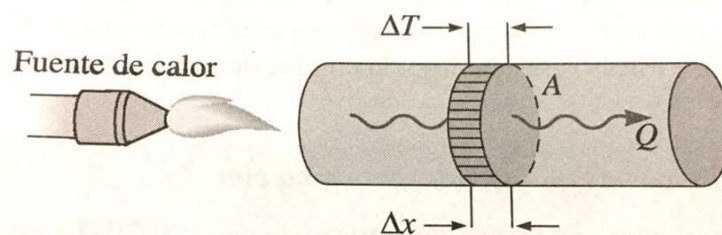


Imagen: Figura.

En la figura se observa que, al calentarse un extremo de la barra, fluirá hacia el extremo frío un flujo térmico Q/A a una velocidad producto del gradiente de temperatura en la barra.

1.12. Resistencia térmica

Se define como la oposición que la pared ejerce sobre el flujo de calor por conducción. Se expresa de la siguiente forma:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Donde:

- R: Resistencia térmica.
- e: Espesor del material.
- λ : Conductividad térmica del material.

1.13. Procesos de transferencia de calor

Los procesos por los cuales se transfiere el calor son los siguientes:

- Conducción: El calor fluye de la región de mayor temperatura, sin transferencia de materia, a la de menor temperatura.
- Convección: Consiste en dos mecanismos que operan de manera simultánea, es decir, se trasmite el calor a través de la propia materia portadora.
- Radiación: “Este proceso consiste en la transmisión de energía por medio de la emisión de ondas electromagnéticas o fotones. La cantidad de energía que salga de la superficie dependerá de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie”. (Principios de Transferencia de Calor, 2012)

1.14. Puente térmico

En la construcción, existen patologías que luego de la ejecución de la obra son difícilmente reparables. Algunas de ellas son producidas por los puentes térmicos, los cuales consisten en zonas en las que se produce una transferencia de calor, a causa de una variación de la resistencia térmica en los materiales. (Muñoz, 2012)

Estos cambios de resistencia térmica pueden llegar a provocar condensaciones superficiales, aparición de moho y deterioro de la estructura. Asimismo, se debe

analizar el puente térmico en la etapa de diseño de la obra, para así, asegurar una eficiente prestación de la envolvente. (Muñoz, 2012)

Luego de finalizar con el capítulo I, en el cual se realizó un amplio marco teórico con todos los conceptos que debieron ser considerados y abordados para la fabricación del bloque, se comenzarán a detallar los pasos previos a la ejecución final.

El bloque térmico es el resultado de un procedimiento con una serie de errores y correcciones a lo largo de todo su proceso de fabricación, los cuales serán mostrados a continuación.

Capítulo II: Pasos previos

En este capítulo se desarrollará el comienzo de la investigación, los inconvenientes y el cambio de materiales que se suscitaron durante la ejecución del bloque.

Al principio del proyecto se plantearon las siguientes propuestas, las cuales a continuación se comentará por qué debieron ser descartadas.

1. Originalmente, el espacio que ocupan las botellas PET en el bloque térmico sería cubierto por latas de aluminio. Esto debió ser descartado, principalmente, por la alta conductividad térmica que posee el aluminio y, además, por la dificultad en la obtención de la materia prima, ya que el aluminio se comenzó a reciclar y, por lo tanto, su comercio se incrementó.
2. Se cometieron errores en cuanto a la compactación de la mezcla y respecto a la relación agua/cemento. A continuación, se puede observar una imagen del primer bloque fabricado, solamente hecho por arena natural y cemento, en el cual también se puede ver en su cara lateral, cómo la compactación de la mezcla no fue la adecuada, ocasionando un bloque fabricado sin una correcta geometría y, además, con una menor eficiencia térmica.



Imagen: Bloque térmico 1.

3. El bloque térmico debe ser maleable y fácil de colocar por parte del operario. Es por esto por lo que se buscó que el peso de éste sea bajo. La primera

versión que se realizó tuvo un peso de 8 kilogramos, un valor elevado que hacía que sea muy difícil de manipular.

Luego de esto, se comenzó a investigar sobre posibles alternativas a la arena natural y se encontró que la arena volcánica, además de poseer propiedades térmicas más eficientes, contaba con un peso inferior, y es por ello que se decidió incorporarla a la mezcla.

Seguidamente, se muestra una imagen del bloque de 8 kilogramos:



Imagen: Bloque térmico 1.

4. El bloque térmico 1 sirvió para revertir los errores y que el desarrollo final de esta Tesina sea completamente eficiente y estético. Como se pudo observar claramente en las imágenes anteriores, el bloque fabricado no cuenta con una geometría agradable a la vista. Asimismo, en las próximas unidades se buscó tomar mayores precauciones en este aspecto, para lograr una correcta geometría del mismo.

Finalizando con la explicación, en el siguiente capítulo se comenzarán a determinar los materiales y las características físicas en la ejecución del bloque térmico 2.

Capítulo III: Materiales y geometría

3.1. Elementos y materiales

- A. Moldes fabricados con madera de pino cepillada, con dimensiones de 30 cm de largo, 17 cm de base y 10 cm de alto.



Imagen: Moldes.

- B. Balde de albañil utilizado para la homogenización de la mezcla, previamente a la ejecución del bloque térmico. Sus dimensiones son ancho de 50 cm, alto de 35 cm y cuenta con una capacidad de 9 litros.



Imagen: Balde albañil.

- C. Cuchara de albañil empleada para mezclar los materiales y para, finalmente, colocar la mezcla en el molde. Tiene un mango de madera de 13 cm y el largo de la hoja es de 17 cm.



Imagen: Cuchara de albañil.

D. Adhesivo vinílico Fortex de 250 gramos, destinado para la fijación de las maderas del molde.



Imagen: Adhesivo vinílico.

E. Cinta métrica Stanley con una longitud de 10 metros, utilizada para medir las dimensiones de los moldes y del bloque térmico obtenido.



Imagen: Cinta métrica.

- F. Pincel empleado para colocar el adhesivo vinílico en las maderas del molde, con mango de madera y cerdas iguales y flexibles.



Imagen: Pincel.

- G. Clavos para rigidizar la estructura del molde y evitar su rotura en la compactación de la mezcla, con longitud de 1 ¼”.



Imagen: Clavos.

- H. Balanza utilizada para medir las proporciones de los materiales en la fabricación del bloque.



Imagen: Balanza.

- I. Arena natural destinada para formar la mezcla del bloque.



Imagen: Arena natural.

- J. Arena volcánica como materia prima principal en la elaboración del bloque.



Imagen: Arena volcánica.

- K. Cemento Portland Loma Negra de 50 kilogramos, utilizado para obtener la resistencia en el bloque finalmente secado.



Imagen: Cemento.

- L. Termómetro de alcohol Luft empleado durante el ensayo de aislación térmica, con una longitud de 300 mm y un rango de temperaturas de -10°C a + 110°C.



Imagen: Termómetro de alcohol.

Luego de detallar los elementos de fabricación y materiales, se establecen las proporciones con las cuales el bloque térmico estará compuesto y sus dimensiones correspondientes.

3.2. Composición del bloque térmico

El bloque estará compuesto por una relación 1:1:2, es decir, 1 parte de cemento, 1 parte de arena natural y 2 partes de arena volcánica.

$$\frac{1}{4} = 0.25 * 100 = 25 \% \text{ Cemento}$$

$$\frac{1}{4} = 0.25 * 100 = 25 \% \text{ Arena natural}$$

$$\frac{1}{2} = 0.5 * 100 = 50 \% \text{ Arena volcánica}$$

Dimensiones del bloque térmico

- Largo = 28 cm
- Base = 15 cm
- Alto = 9 cm

$$\text{Volumen} = L * B * A = 28\text{cm} * 15\text{ cm} * 9\text{cm} = 3780\text{cm}^3$$

Dimensiones de botellas a utilizar:

Serán utilizadas de 500 ml.

- Diámetro = 5 cm
- Radio = 2.5 cm
- Altura = 22 cm

$$A = \pi * r^2 = \pi * 2.5^2\text{cm}^2 = 19.625\text{ cm}^2$$

$$V = 2 * A * h = 2 * 19.625\text{ cm}^2 * 22\text{cm} = 863.5\text{cm}^3$$

De los cálculos obtenidos, se determinó que el bloque térmico estará compuesto 22.85% por las botellas PET y 77.15% por la mezcla.

Los conceptos introducidos en el marco teórico determinaron que se debía buscar un bloque, en conjunto con materiales que presenten conductividad térmica baja, para obtener un eficiente resultado de mecanismos de flujo de calor.

Dicho esto, se observa de los porcentajes que figuran más arriba, respecto a las proporciones botella-mezcla, que el volumen de las primeras es menor a las segundas. Esto significa que hay sectores en los cuales predomina el agregado, y no se presenta el polietileno.

El cambio de materiales dentro de una pieza constructiva puede ocasionar un puente térmico. En el bloque fabricado se combinan la baja conductividad térmica del PET y de la arena volcánica, reduciendo de esta forma, las variaciones de calor en la geometría de este.

Finalmente, en el próximo capítulo se comenzará a detallar la fabricación final del bloque térmico, desde la etapa preliminar hasta la etapa final de desmoldado, pesaje y análisis.

Capítulo IV: Fabricación del bloque térmico

4.1. Etapa preliminar

En la siguiente imagen se puede observar que el primer paso realizado, consistió en la selección de las maderas con las cuales se fabricarían los moldes. Deberían ser resistentes para evitar deformaciones, producto de la compactación de la mezcla y, así, evitar perder la geometría del bloque. En nuestro caso, se utilizaron maderas de pino, ya que el mismo presenta gran rigidez y resistencia.



Imagen: Aserradero.

Luego de la selección de las maderas, el siguiente paso radicó en cortarlas con una sierra eléctrica, con el fin de obtener las medidas exactas, para la posterior fabricación de los moldes.

Cada una de estas tablas fue cepillada en el lado interior, para lograr una superficie completamente lisa, sin rugosidades y, así, lograr que cada una de las caras del bloque térmico sea completamente lisa.

En las siguientes dos imágenes se pueden observar las maderas cepilladas y con sus correctas dimensiones, previo a unirse formando el molde.



Imagen: Maderas del molde.

Con el propósito de lograr una geometría indeformable del molde, se unieron cada una de las maderas verticales con las horizontales utilizando cola de pegar y se dejó secar durante cuatro horas.

Debido a que el molde se iba a encontrar sometido a grandes esfuerzos laterales producto de la compactación de la mezcla, se debió utilizar otro método de unión para evitar que el mismo se rompa. Es por esto que se reforzó cada uno de los extremos con dos clavos que rigidizaban la estructura, provocando así un mayor agarre entre las tablas horizontales y las verticales.



Imagen: Ejecución del molde.

A continuación, se muestra el molde completamente terminado y listo para ser utilizado en la fabricación del bloque térmico.

Las medidas obtenidas fueron:

- 30 cm de largo
- 17 cm de base
- 10 cm de alto.



Imagen: Moldes terminados.

4.2. Etapa de selección de proporciones

En esta etapa, fue fundamental establecer la proporción de los materiales que se utilizarían en la mezcla, para la fabricación del bloque térmico.

Se buscó que el bloque fabricado pudiera ser puesto en obra con una sola mano, facilitando su operación por parte de los albañiles.

Dicho esto, lo que se realizó fue establecer un peso estimado del mismo y, en base a esto, preestablecer la relación de materiales, respetando que se encontraría fabricado con un 25% de cemento, 25% de arena natural y 50% de arena volcánica.

Estos porcentajes se determinaron estudiando la composición del bloque de hormigón y, se buscó, con ayuda de un maestro mayor de obras, adecuar los mismos al bloque térmico.

En la siguiente imagen se observa una medida de arena volcánica, la cual tiene un peso de 40 gramos.



Imagen: Medida de arena volcánica.

En la segunda fotografía se muestra una medida de cemento, la cual tiene un peso de 110 gramos.



Imagen: Medida de cemento.

Finalmente, en la última imagen, se observa la arena natural utilizada. La porción mostrada en la pala de albañil cuenta con un peso de 144 gramos, además se observa claramente una diferencia de tamaño de sus partículas frente a la arena volcánica.



Imagen: Medida de arena natural.

4.3. Etapa de ejecución del bloque térmico

Luego de definir cada una de las proporciones de los materiales a emplear, se estableció que, para la fabricación de un único bloque, serían necesarias las siguientes cantidades:

- 50 Medidas de arena volcánica = 2 Kg
- 9 Medidas de cemento = 1 Kg
- 7 Medidas de arena natural = 1 Kg

A continuación, en las siguientes imágenes, se puede observar que:

- A. Se colocó cada uno de los materiales en un balde de albañil.
- B. Se mezcló cada uno de ellos con la ayuda de la pala.
- C. Se logró que los materiales se encuentren mezclados completamente, de manera homogénea. Es decir, se unificaron, formando un único compuesto sin poder distinguir cada uno de los mismos. Esto se hace con el objetivo de que toda la mezcla cuente con las mismas proporciones y, por lo tanto, que el bloque fabricado presente las mismas características en cada una de sus caras.



Imagen: Materiales secos, previo y posterior, a ser mezclados.

Seguidamente, se observa la mezcla final luego de introducirle agua. Es fundamental conocer en profundidad la relación agua/cemento detallada anteriormente, para lograr que la misma obtenga una consistencia ideal. Para la ejecución del bloque térmico fue necesario colocarle 1 litro de agua en estado natural.



Imagen: Mezcla del bloque.

Más adelante, se visualiza el molde listo para la colocación de la mezcla en su interior. La preparación consistió en ubicarlo por encima de papel para obtener un terreno completamente limpio y, por sobre el mismo, se colocó arena natural para que el bloque quede con una superficie completamente lisa y no se pierda la geometría de este.



Imagen: Molde con arena en la base.

El próximo paso realizado radicó en volcar una pequeña proporción de la mezcla en el interior del molde con el objetivo de compactarla y así lograr una base de dos centímetros de espesor previos a introducir las botellas, evitando que las mismas se desplacen hacía la parte inferior y se pierda la geometría del bloque.



Imagen: Molde con base de cemento.

Luego, en la siguiente imagen, se puede visualizar la colocación de las dos botellas PET de 500 ml en el interior del molde. Ambas botellas se encuentran sujetas entre

sí, con cinta adhesiva, buscando que no se generen desplazamientos entre las mismas cuando se coloque la mezcla restante.



Imagen: Molde con botellas PET.

A continuación, se observa el molde con el resto de la mezcla introducida previamente a ser compactada.



Imagen: Agregado de cemento.

Para finalizar con el proceso de ejecución del bloque, el último paso consistió en realizar la completa compactación de la mezcla. Esto se hizo con ayuda de un

fratacho y una varilla, permitiendo obtener un bloque térmico resistente, sin burbujas de aire, que lo perjudicarían tanto en sus propiedades térmicas como estéticamente.



Imagen: Compactación de la mezcla.

4.4. Etapa de desmoldado y características finales

Luego de terminar el armado del bloque, se dejó secar la mezcla en el molde durante 24 horas, aprovechando las horas diurnas de sol, aunque sin encontrarse directamente expuesto a los rayos solares. Una vez finalizadas las primeras 24 horas de secado, se realizó el desmoldado y se lo dejó nuevamente secar durante 48 horas.

La extracción del bloque fabricado no presentó dificultades. Esto se debe a que previo a la colocación de la mezcla en el interior del molde, se cubrieron cada una de las caras de la madera con aceite, también pudiéndose utilizar gasoil.

Por último, se realizó la limpieza del interior del molde, utilizando agua y la pala de albañil, con el objetivo de eliminar los restos de mezcla que hayan quedado pegados y, así, facilitar la ejecución de las próximas unidades.

A continuación, se muestra el bloque luego de ser desmoldado, una vez transcurridas las primeras 24 horas.



Imagen: Bloque desmoldado.

Finalmente, se presenta el bloque completamente seco, luego de 72 horas de su desmoldado. Se puede observar que presenta las mismas características en cada una de sus caras, además de contar con una correcta geometría.



Imagen: Bloque térmico.

Seguidamente, en la próxima imagen se realiza el pesaje del bloque, arrojando un peso final de 4 kilogramos.



Imagen: Peso del bloque.

Asimismo, el volumen final obtenido es 201.6% mayor que el ladrillo tradicional de arcilla. En la siguiente fotografía, se puede visualizar dicha diferencia de tamaños.



Imagen: Bloque térmico vs ladrillo tradicional de arcilla.

Habiéndose completado, en detalle, cada una de las partes correspondientes a la etapa de fabricación, se procede en el siguiente capítulo a la ejecución y análisis del ensayo de aislación térmica.

Capítulo V: Ensayo

5.1. Ensayo de Aislación térmica

Para realizar el ensayo de aislamiento del bloque térmico y poder comparar sus características con las del ladrillo tradicional de arcilla, se decidieron construir dos cámaras aislantes, exactamente iguales, utilizando la misma cantidad de unidades. Cada una de las unidades que componen las cámaras de aislamiento térmico se encuentran completamente fijadas con cemento. Fue necesario cubrir absolutamente todos los huecos entre los ladrillos y entre los bloques térmicos, con el objetivo de evitar el ingreso del aire exterior y que se produzca un proceso de convección en el interior de las cámaras.

En las siguientes imágenes, se observa una vista superior de la cámara aislante hecha con el ladrillo tradicional de arcilla y por el bloque térmico.



Imagen: Cámaras aislantes.

A continuación, se colocaron dos de los ladrillos/bloques restantes en la parte superior, los cuales también fueron fijados con cemento permitiendo así que las cámaras aislantes se encuentren completamente selladas e inmóviles.

Para facilitar el ingreso al interior, se determinó dejar una unidad móvil, la cual podría extraerse y colocarse con facilidad, como se observa seguidamente:



Imagen: Perspectiva cámara aislante ladrillo/bloque.

Finalmente, se muestran las cámaras selladas, con su correspondiente unidad móvil, que nos permite el ingreso a su interior.



Imagen: Cámara aislante completamente cerrada.

5.2. Funcionamiento del Ensayo

Luego de finalizar la construcción de las cámaras aislantes, lo que se realizó fue lo siguiente:

- Se colocó cada una en el mismo sitio, en el cual, se encontraban expuestas, exactamente, a las mismas condiciones climatológicas.
- Se introdujo un termómetro en el interior de cada una de ellas y un termómetro en el exterior al mismo tiempo. Se pudo ingresar al interior de las cámaras a través de la unidad móvil, la cual se podía extraer y volver a colocar, tantas veces se quisiera.
- Se dejó cada uno de los termómetros durante 20 minutos, tanto en el interior como en el exterior y se registraron las mediciones correspondientes a ese horario.
- Se repitió este mismo proceso tantas veces se considerará necesario a lo largo del día.

Las mediciones registradas en esta Tesina se efectuaron en la ciudad de Chos Malal, Provincia de Neuquén, durante el mes de febrero. De esta manera se expuso al bloque térmico a situaciones de temperaturas elevadas durante la tarde y, se aprovechó el descenso de la misma por la noche.

5.3. Mediciones día 1

Posteriormente del registro de las mediciones obtenidas el día 1, se encontró que la temperatura exterior más alta fue de 39.3°C y se registró a las 16:00 horas. Las mediciones en el interior fueron de 38.6°C para el ladrillo tradicional y 34.1°C para el bloque térmico, logrando obtener una diferencia entre ellas de 4.5°C .

A las 20:00 horas, se registraba una temperatura exterior de 29.3°C , mientras que, las cámaras aislantes arrojaron 28.1°C y 27.5°C . Finalmente, a las 01:00 horas se media la temperatura ambiente más baja, la cual era de 20.5° y de 19.7°C para la cámara de ladrillo tradicional y 20.2°C para la cámara de bloque térmico.

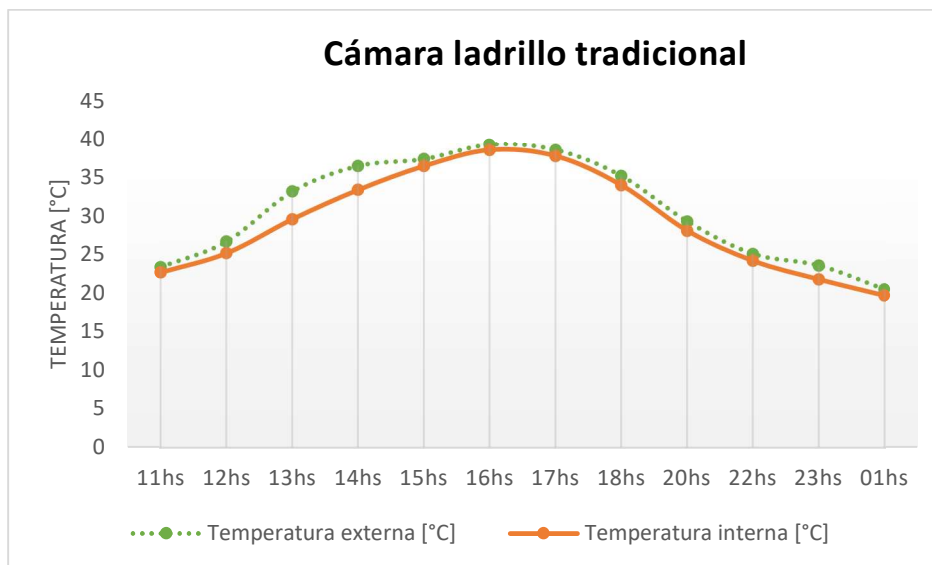
Se observa una amplia diferencia entre cámaras, cuando la temperatura exterior se encuentra más elevada, entre tanto, a medida que la misma comienza a decrecer, los registros entre estas se tornan semejantes.

Seguidamente se muestra la tabla completa de valores:

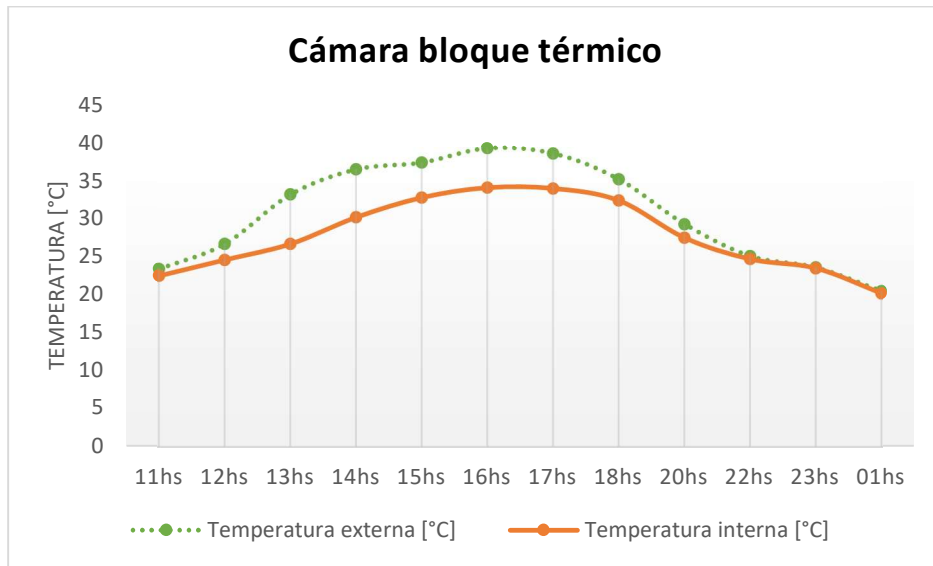
Horario	Temperatura externa [°C]	Cámara ladrillo tradicional	Cámara bloque térmico	Variación de temperaturas entre cámaras [°C]	Porcentaje de variación
		Temperatura interna [°C]	Temperatura interna [°C]		
11hs	23,4	22,7	22,5	0,2	0,88%
12hs	26,7	25,2	24,6	0,6	2,38%
13hs	33,2	29,6	26,7	2,9	9,80%
14hs	36,5	33,4	30,2	3,2	9,58%
15hs	37,4	36,5	32,8	3,7	10,14%
16hs	39,3	38,6	34,1	4,5	11,66%
17hs	38,6	37,8	34,0	3,8	10,05%
18hs	35,2	34,0	32,4	1,6	4,71%
20hs	29,3	28,1	27,5	0,6	2,14%
22hs	25,1	24,2	24,7	0,5	2,07%
23hs	23,6	21,8	23,5	1,7	7,80%
01hs	20,5	19,7	20,2	0,5	2,54%

A continuación, se realizaron dos gráficos comparativos entre los datos obtenidos de medir la temperatura interna en la cámara del ladrillo tradicional y en la cámara del bloque térmico.

Comportamiento cámara ladrillo tradicional versus temperatura externa:

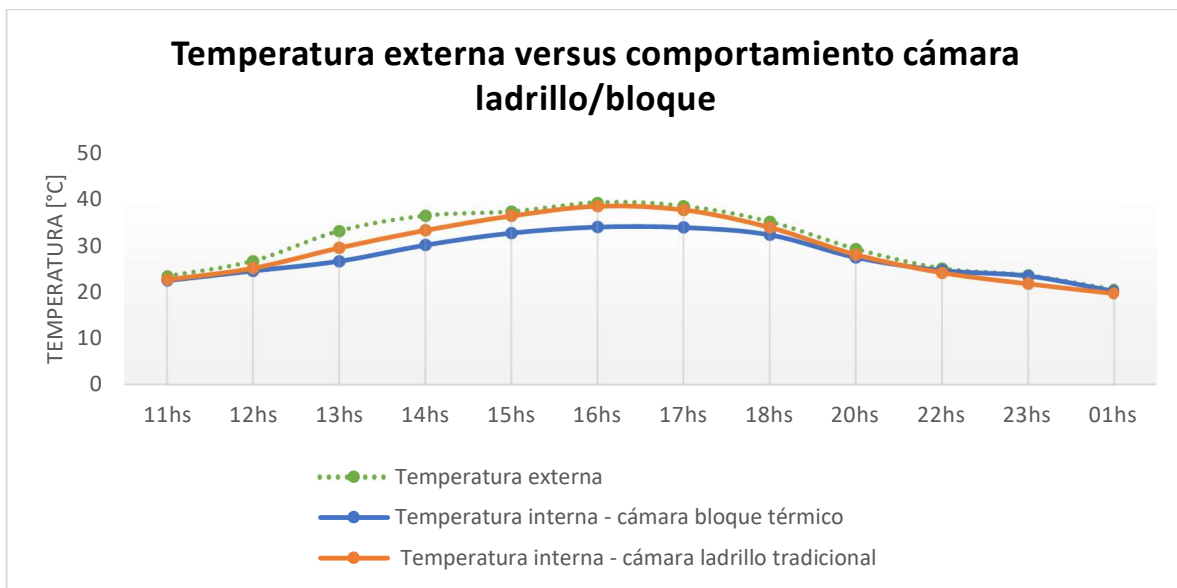


Comportamiento cámara bloque térmico versus temperatura externa:



En el siguiente gráfico, se comparan simultáneamente las temperaturas medidas en las cámaras de ladrillo tradicional y de bloque térmico, frente a la temperatura externa, con el fin de lograr una mejor visualización y un análisis de datos más comparativo y eficaz.

Se puede determinar, claramente, que durante el intervalo de las 13:00 horas y las 18:00 horas se produjo una amplia diferencia entre la temperatura interior de la cámara de ladrillo tradicional y la de bloque térmico, demostrando así su capacidad de aislación.



5.4. Mediciones día 2

En el registro de las mediciones efectuadas a lo largo del día 2, se encontró que la temperatura más alta en el exterior fue de 38.0°C a las 16:00 horas, mientras que, en el interior de las cámaras se obtuvo 36.8°C y 34.0°C, respectivamente, logrando una diferencia entre la cámara de ladrillo y de bloque térmico de 2.8°C.

La última medición fue a las 00:00 horas. El termómetro arrojó 23.1°C en el exterior, entre tanto, en el interior fueron de 21.0°C y 22.6°C. En este caso, se observa que la cámara de ladrillos de arcilla tuvo una mayor facilidad en bajar la temperatura interior que la cámara de bloques térmicos, siendo una ventaja en verano, pero no tan favorable en invierno.

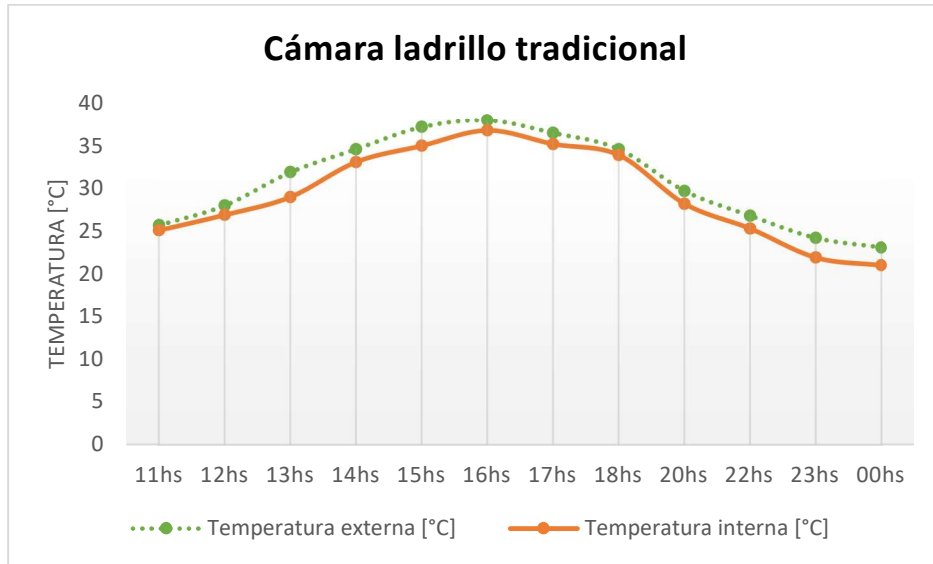
Se buscó en las mediciones obtenidas un rango horario amplio, estableciendo y demostrando claramente la variación de temperaturas a lo largo del día.

Seguidamente se muestra la tabla completa de valores:

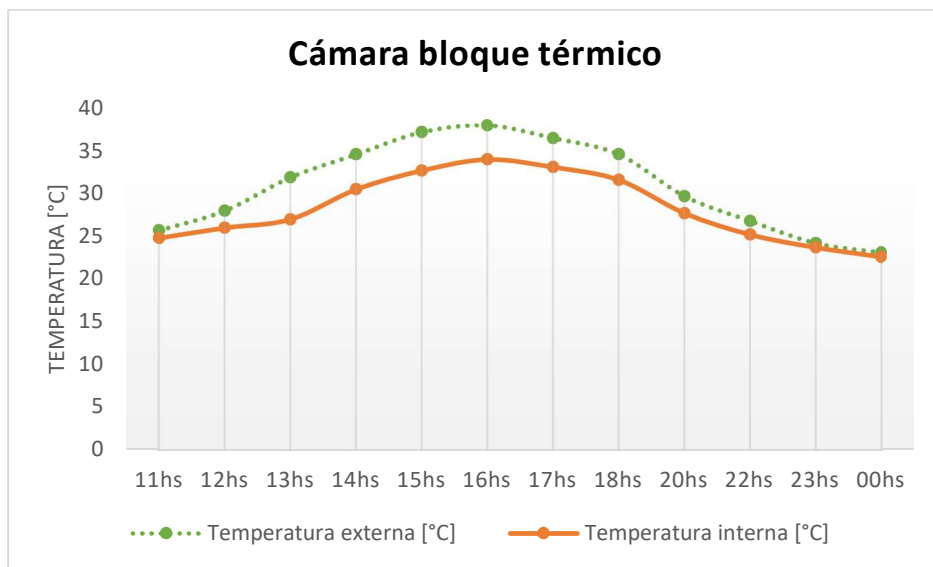
Horario	Temperatura externa [°C]	Cámara ladrillo tradicional	Cámara bloque térmico	Variación de temperaturas entre cámaras [°C]	Porcentaje de variación
		Temperatura interna [°C]	Temperatura interna [°C]		
11hs	25,7	25,1	24,8	0,3	1,20%
12hs	28,0	26,9	26,0	0,9	3,35%
13hs	31,9	29,0	27,0	2,0	6,90%
14hs	34,6	33,1	30,5	2,6	7,85%
15hs	37,2	35,0	32,7	2,3	6,57%
16hs	38,0	36,8	34,0	2,8	7,61%
17hs	36,5	35,2	33,1	2,1	5,97%
18hs	34,6	33,9	31,6	2,3	6,78%
20hs	29,7	28,2	27,7	0,5	1,77%
22hs	26,8	25,3	25,2	0,1	0,40%
23hs	24,2	21,9	23,7	1,8	8,22%
00hs	23,1	21,0	22,6	1,6	7,62%

A continuación, se realizaron dos gráficos comparativos entre la cámara de ladrillo tradicional y la de bloque térmico, frente a la temperatura externa.

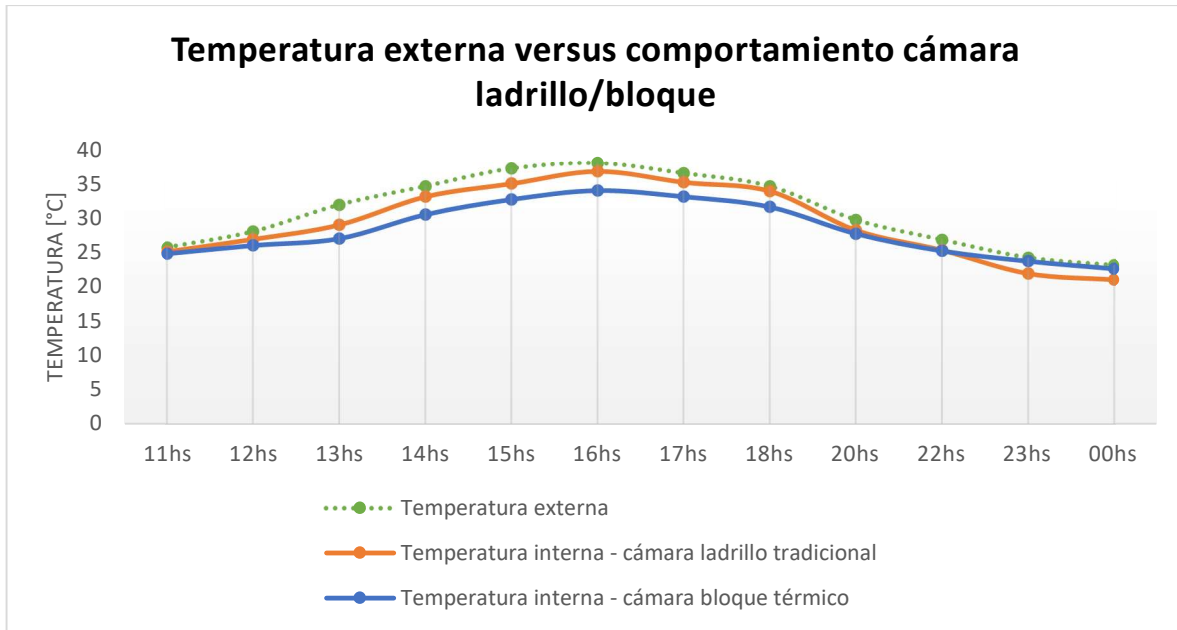
Comportamiento cámara ladrillo tradicional vs temperatura externa:



Comportamiento cámara bloque térmico vs temperatura externa:



En el siguiente gráfico comparativo de temperaturas, se puede observar que durante el período desde las 13:00 horas hasta las 18:00 horas, la cámara de bloques térmicos conservó una menor temperatura interna, mientras que, a partir de las 20:00 horas hasta la última medición efectuada, fue capaz de conservarla con mayor eficacia en su interior.



5.5. Mediciones día 3

En los registros efectuados durante el día 3, la temperatura exterior más alta se ubicó a las 17:00 horas y fue de 40.7°C. Las medidas en el interior de las cámaras fueron de 39.8°C y 35.0°C respectivamente, logrando así una diferencia entre piezas constructivas de 4.8°C.

A las 21:00 horas, se registraba una temperatura exterior de 30.1°C. Asimismo, las cámaras aislantes arrojaron 33.9°C y 29.3°C. En este caso, se notó que, aunque la temperatura exterior descendió de manera considerable, ambas retuvieron en su interior una elevada temperatura.

Finalmente, a las 01:00 horas, se media la temperatura ambiente más baja, la cual fue de 25.3°C y, de 25.5°C para la cámara de ladrillo tradicional y 26.8°C para la cámara de bloque térmico.

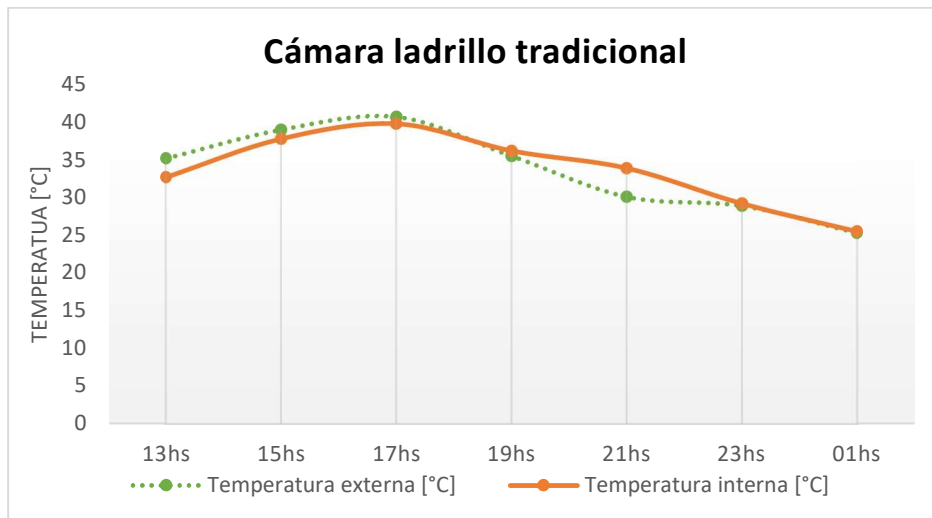
Como conclusión de las mediciones obtenidas a lo largo del día 3, se puede afirmar que la cámara de bloques térmicos presentó un mejor comportamiento frente a temperaturas extremas, aunque se le dificultó disminuir la temperatura de su interior, con el pasar de las horas.

Seguidamente se muestra la tabla completa de valores:

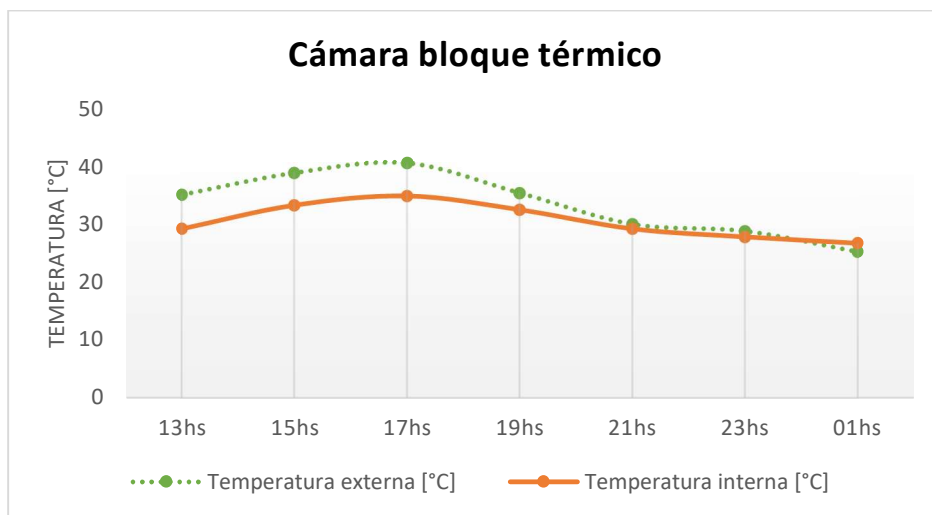
Horario	Temperatura externa [°C]	Cámara ladrillo tradicional	Cámara bloque térmico	Variación de temperaturas entre cámaras [°C]	Porcentaje de variación
		Temperatura interna [°C]	Temperatura interna [°C]		
13hs	35,2	32,7	29,3	3,4	10,40%
15hs	39,0	37,8	33,4	4,4	11,64%
17hs	40,7	39,8	35,0	4,8	12,06%
19hs	35,5	36,2	32,6	3,6	9,94%
21hs	30,1	33,9	29,3	4,6	13,57%
23hs	28,9	29,2	27,9	1,3	4,45%
01hs	25,3	25,5	26,8	1,3	5,10%

A continuación, se realizaron dos gráficos comparativos entre los datos obtenidos.

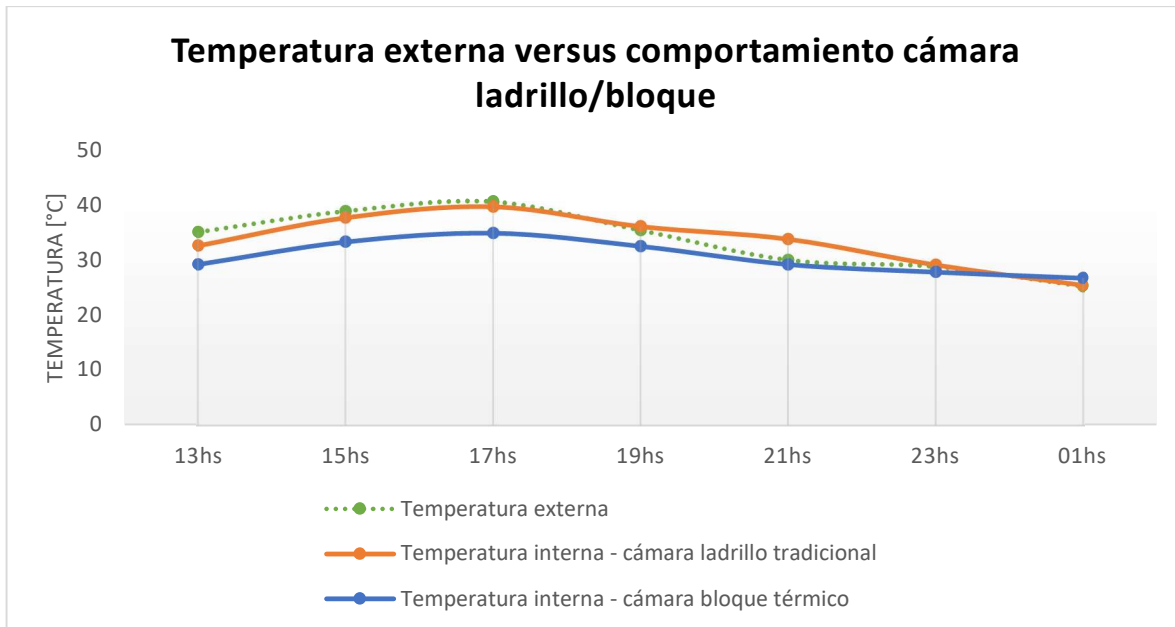
Comportamiento cámara ladrillo tradicional versus temperatura externa:



Comportamiento cámara bloque térmico versus temperatura externa:



En el siguiente gráfico, se observa, claramente, que se sigue manteniendo la misma tendencia que en los días anteriores. Es durante el intervalo desde las 13:00 horas hasta las 18:00 horas cuando se presenta una mayor diferencia de las temperaturas entre las cámaras aislantes, notándose así que aquella construida con bloques térmicos sigue logrando una mayor capacidad de aislación, aunque se le dificulta disminuir la temperatura, en su interior, al pasar las horas.



5.6. Mediciones día 4

Finalmente, en las mediciones efectuadas durante el día 4, los parámetros no variaron, de acuerdo con lo que se registró anteriormente. La temperatura exterior más alta se encontró a las 17:00 horas y fue de 38.0°C. En cambio, en el interior las mediciones arrojaron 37.4°C y 33.9°C, respectivamente, una diferencia de 3.5°C entre ambas piezas constructivas, de forma positiva para nuestro bloque térmico.

A las 21:00 horas, se registraba una temperatura exterior de 29.4°C. Asimismo, las cámaras aislantes arrojaron 30.2°C y 28.0°C. Demostrando así, que la cámara de bloques térmicos logra mantener su interior a una temperatura inferior.

La última medición se realizó a las 23:00 horas. En ella se registraron 26.7°C en el exterior, mientras que, en el interior las temperaturas fueron de 26.2°C y 26.5°C respectivamente, en este caso, se registró una menor temperatura en el interior de

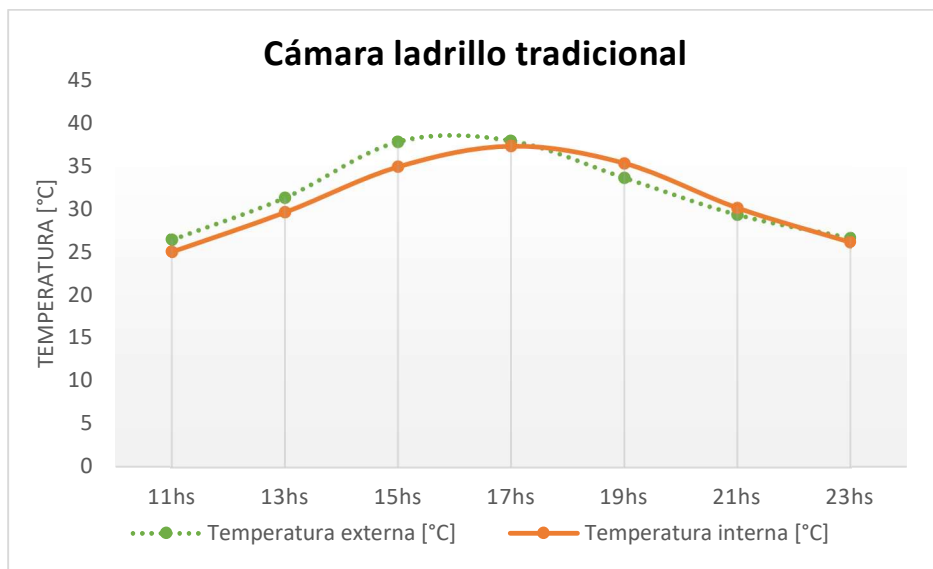
la cámara aislante fabricada con los ladrillos tradicionales, aunque no representa una diferencia significativa a considerar.

Seguidamente se muestra la tabla completa de valores:

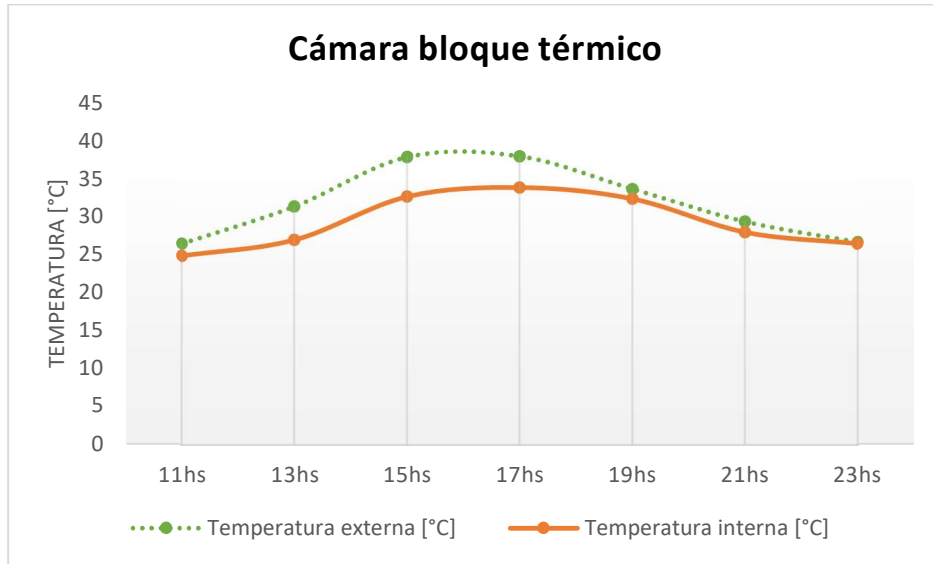
Horario	Temperatura externa [°C]	Cámara ladrillo tradicional	Cámara bloque térmico	Variación de temperaturas entre cámaras [°C]	Porcentaje de variación
		Temperatura interna [°C]	Temperatura interna [°C]		
11hs	26,5	25,1	24,9	0,2	0,80%
13hs	31,4	29,7	27,0	2,7	9,09%
15hs	37,9	35,0	32,7	2,3	6,57%
17hs	38,0	37,4	33,9	3,5	9,36%
19hs	33,7	35,4	32,4	3,0	8,47%
21hs	29,4	30,2	28,0	2,2	7,28%
23hs	26,7	26,2	26,5	0,3	1,15%

A continuación, se realizaron dos gráficos comparativos entre la cámara de ladrillo tradicional y la construida con el bloque térmico, versus la temperatura externa:

Comportamiento cámara ladrillo tradicional versus temperatura externa:

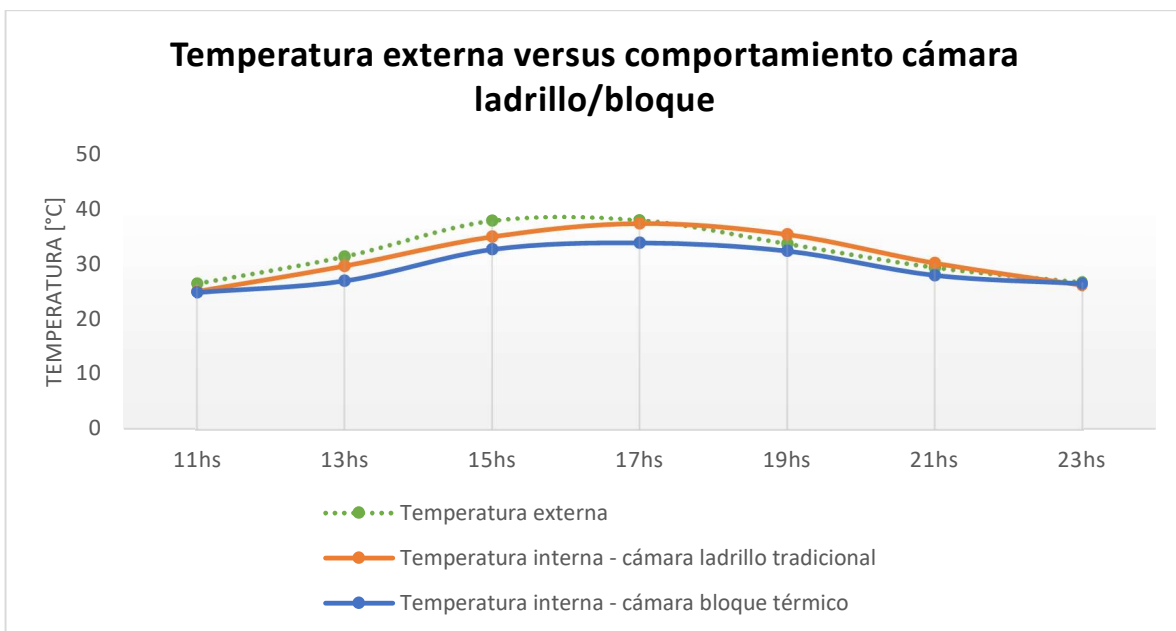


Comportamiento cámara bloque térmico vs temperatura externa:



En el último gráfico comparativo de temperaturas, se observa que desde las 13:00 horas hasta las 19:00 horas, la cámara aislante de los bloques térmicos pudo mantener su interior a una menor temperatura.

Durante el resto del día no hubo grandes variaciones entre ambas, aunque se observa una mayor rapidez de la cámara hecha con ladrillos tradicionales de arcilla en el descenso de la temperatura interior, a medida que el tiempo transcurre.



5.7. Promedio Final de mediciones

En conclusión, para terminar con los registros obtenidos a lo largo de los cuatro días en los cuales se registraron las mediciones, el siguiente paso consistió en obtener un promedio de todas las temperaturas medidas, tanto en cada una de las cámaras aislantes como de la temperatura ambiente.

Durante el rango desde las 13:00 horas hasta las 19:00 horas, el promedio de diferencia de temperaturas entre cámaras aislantes fue de 3.11°C , siendo este un valor significativo, a considerar, que demuestra la aislación y resistencia térmica.

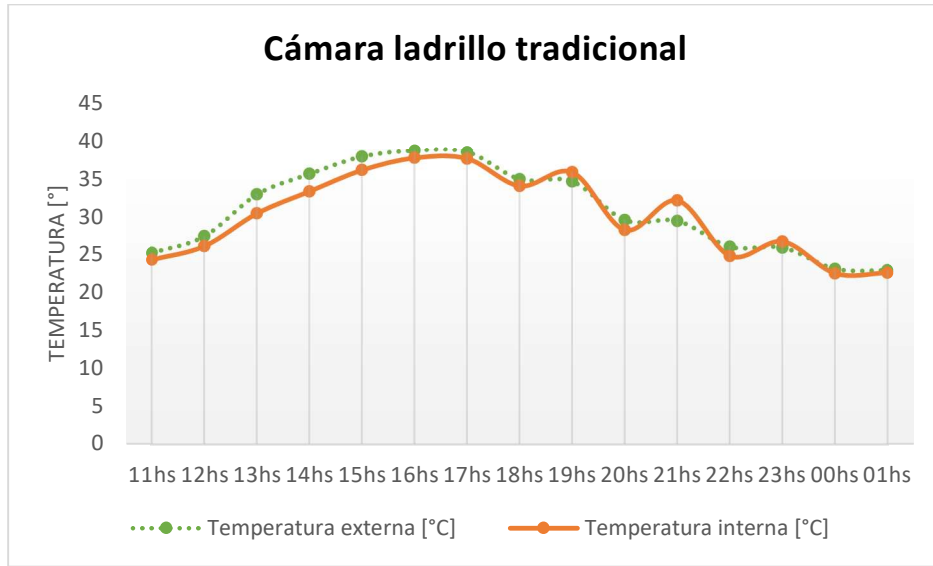
A partir de las 20:00 horas y hasta el registro final de mediciones, no existieron grandes variaciones entre cámaras aislantes, aunque se puede concluir que aquella construida con el bloque térmico tuvo una mayor dificultad en disminuir su temperatura interior frente a la de ladrillo tradicional de arcilla. Esto podría ser considerado una desventaja de éste, dependiendo las estaciones del año correspondientes. De todas formas, se comprobó que el mismo posee una mayor resistencia y aislación térmica durante el intervalo de mayor temperatura.

A continuación, se muestra la planilla completa:

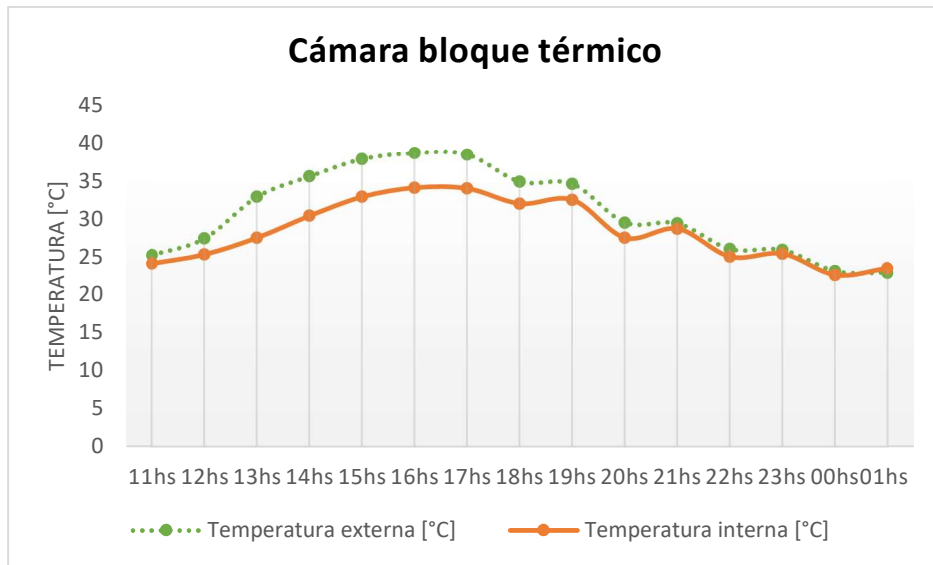
Horario	Temperatura externa [$^{\circ}\text{C}$]	Cámara ladrillo tradicional	Cámara bloque térmico	Variación de temperaturas entre cámaras [$^{\circ}\text{C}$]	Porcentaje de variación
		Temperatura interna [$^{\circ}\text{C}$]	Temperatura interna [$^{\circ}\text{C}$]		
11hs	25,2	24,3	24,1	0,2	0,82%
12hs	27,4	26,1	25,3	0,8	3,07%
13hs	32,9	30,4	27,5	2,9	9,54%
14hs	35,6	33,3	30,4	2,9	8,71%
15hs	37,9	36,1	32,9	3,2	8,86%
16hs	38,7	37,7	34,1	3,6	9,55%
17hs	38,5	37,6	34,0	3,6	9,57%
18hs	34,9	34,0	32,0	2,0	5,88%
19hs	34,6	35,8	32,5	3,3	9,22%
20hs	29,5	28,2	27,5	0,7	2,48%
21hs	29,8	32,1	28,7	3,4	10,59%
22hs	26,0	24,8	25,0	0,2	0,81%
23hs	25,9	24,8	25,4	0,6	2,42%
00hs	23,1	21,0	22,6	1,6	7,62%
01hs	22,9	22,6	23,5	0,9	3,98%

Finalmente, se muestran los gráficos finales de temperatura:

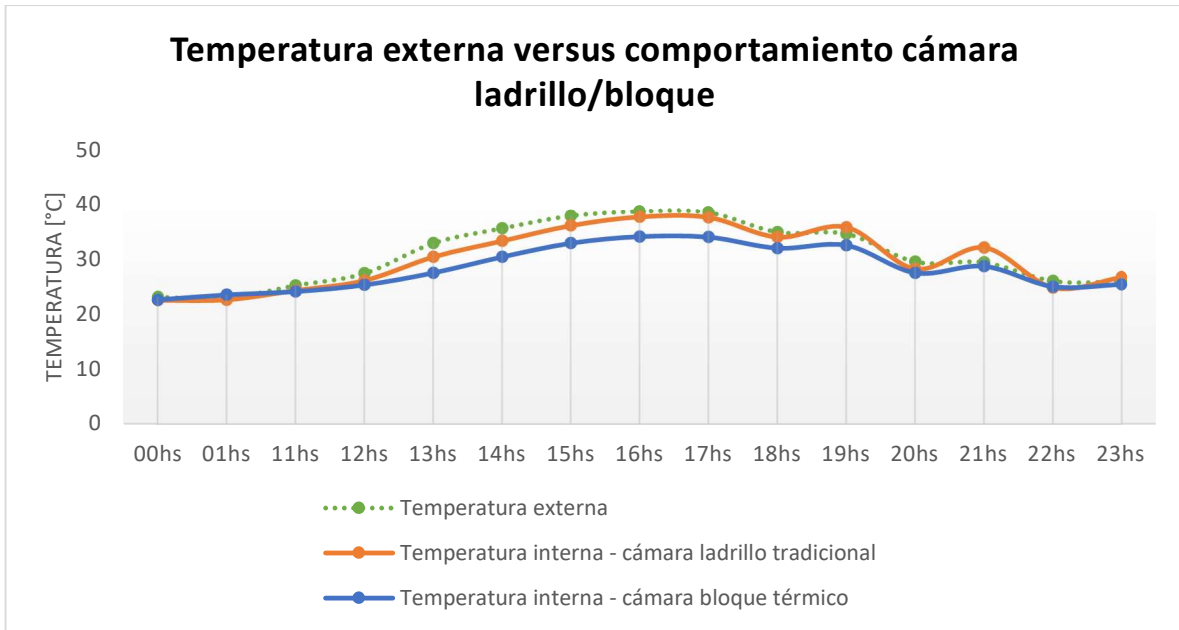
Comportamiento cámara ladrillo tradicional versus temperatura externa:



Comportamiento cámara bloque térmico versus temperatura externa:



En el último gráfico comparativo, se muestran claramente las diferencias previamente mencionadas, pudiéndose observar la variación entre las tres temperaturas en cada uno de los intervalos.



A continuación, en el último capítulo se determinarán las cantidades de materiales y costos.

Capítulo VI: Cantidades y Costos

6.1. Cantidad de unidades por m²

- Ladrillo de arcilla tradicional: 25 cm x 15 cm x 5 cm

Espesor junta: 1.5 cm

$$\text{Cant de unidades x m}^2 = \frac{1}{((\text{largo} + \text{esp Junta}) * (\text{alto} + \text{esp junta}))}$$

$$\text{Cant de unidades x m}^2 = \frac{1}{((0.25 \text{ m} + 0.015 \text{ m}) * (0.05 \text{ m} + 0.015 \text{ m}))}$$

Cant de unidades x m² = 58.06 ladrillos x m²

- Bloque térmico: 28 cm x 15 cm x 9 cm

Espesor junta: 1.5 cm

$$\text{Cant de unidades x m}^2 = \frac{1}{((\text{largo} + \text{esp Junta}) * (\text{alto} + \text{esp junta}))}$$

$$\text{Cant de unidades x m}^2 = \frac{1}{((0.28 \text{ m} + 0.015 \text{ m}) * (0.09 \text{ m} + 0.015 \text{ m}))}$$

Cant de unidades x m² = 32.28 bloques x m²

6.2. Costo del bloque

Materiales	Cantidad por bolsa		Cantidad por bloque	
	Peso	Precio	Peso	Precio
Bolsa de cemento	50 kg	\$510	1.0 kg	\$10.20
Arena natural	50 kg	\$450	1.0 kg	\$9.00
Arena volcánica	50 kg	\$400	2.0kg	\$16.00
				Total=\$35.20

El costo final aproximado y sujeto a modificaciones económicas correspondientes de nuestro bloque térmico es de \$35.20, mientras que el ladrillo tradicional de arcilla se encuentra entre \$10 a \$15. Siendo estos valores obtenidos al 02/06/20

De los cálculos obtenidos anteriormente, se comienza a realizar el presupuesto para construir un metro cuadrado de pared:

- Ladrillos de arcilla = $58.06 \text{ ladrillos} \times \text{m}^2 * \$12.50 = \$725.75. -$
- Bloques térmicos = $32.28 \text{ bloques} \times \text{m}^2 * \$35.20 = \$1136.26. -$

Por lo tanto, se puede observar, claramente, una diferencia de precio por metro cuadrado de cada una de las piezas constructivas. De todas formas, el bloque térmico posee mejores propiedades térmicas frente a su competidor. Dicho esto, se cree que existe una viabilidad económica para la fabricación industrial del producto y, así reducir los costos, para introducirlo en el mercado.

Conclusión

Se ha llegado a la conclusión en este proyecto de que el bloque térmico a base de cemento, botellas PET, arena natural y volcánica representa una alternativa para ser utilizado como pieza constructiva, contribuyendo al uso de las nuevas tecnologías en el ámbito de la construcción y de la arquitectura sustentable.

Se logró fabricar un bloque liviano, debido a la presencia de los huecos en su interior por las botellas PET y, también, por la arena volcánica. Esto permitió que el material no se aleje de las características del ladrillo tradicional de arcilla, siendo perfectamente maleable y pudiéndose colocar con una sola mano. También se cumplió lo establecido en la Norma IRAM, respetando el ancho mínimo requerido y la sección correspondiente a los planos paralelos.

En lo que refiere a la variación térmica, se obtuvieron grandes diferencias de temperatura a lo largo de todos los días en los cuales se registraron las mediciones, obteniendo un valor máximo entre cámaras aislantes de 4.8°C. La diferencia entre ambas fue notable durante las horas en las que mayor exposición solar existió y cuando más alta era la temperatura exterior.

Dicho esto, se cree que el bloque térmico representa una alternativa eficiente en zonas de temperaturas elevadas o en los cuales la vivienda este expuesta a los rayos solares de forma directa.

En cuanto a los costos de fabricación, el bloque térmico posee un valor más elevado que el ladrillo tradicional de arcilla. De todas formas, dadas las dimensiones y la eficiencia como aislante térmico, podría ser perfectamente viable y, más aún, si se tiene en cuenta que la producción industrial, a futuro, podrá reducir los costos de fabricación del mismo, ya que la cámara fue construida con bloques hechos, artesanalmente, por quien hizo la investigación.

Para concluir el trabajo realizado en esta Tesina, se establecerán aspectos que, durante la primera etapa de desarrollo, no fueron tenidos en cuenta pero que en un futuro podrían mejorar la imagen del producto.

Se debería analizar específicamente la capacidad portante del bloque térmico, estableciendo su resistencia a compresión y, de esta forma, verificar otro aspecto comparativo frente al ladrillo tradicional de arcilla.

En esta investigación, se ensayó al bloque térmico en elevadas temperaturas durante el mes de febrero, resultará apropiado someterlo a climas fríos, para obtener información sobre su comportamiento.

Asimismo, el bloque térmico ha sido estudiado como pieza constructiva individual, se podría establecer en un futuro una metodología de trabajo conjunta con otros elementos para generar completamente una vivienda ecológica.

Bibliografía

Piezas constructivas:

- *"Ladrillos Ecológicos, Ventajas y Desventajas"*. 2012. Publicación Web. Acceso 2 Dic 2019. <<https://www.enbuenasmanos.com/ladrillos-ecologicos>>
- Neyra Huamani Ángeles Victoria, Cama Vargas Efrain Vicente. 2016 *"Investigación y Análisis Comparativo de la Extracción Celulósica y los Efectos en la Recuperación de Lodos"*. Repositorio.Unsa.Edu.Pe. Acceso 5 Nov 2019. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3389/IQ_nehuav.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- *"Proceso De Fabricación Del Ladrillo"*. 2015 Bloques Cando, Publicación Web. Acceso 3 Dic 2019. <<https://bloquescando.com/proceso-de-fabricacion-del-ladrillo/>>
- *"Marco Histórico De Los Materiales"*. 2012, Publicación Web. Acceso 28 Jun. 2020. <https://sites.google.com/site/ecoblockitsjr/home/marco-historico-de-los-materiales#_ftnref1>
- *"Bloques De Concreto"*. Bloqueras, 2020, Publicación Web. Acceso 21 Jun. 2020 <<https://bloqueras.org/bloques-concreto/>>
- *"Historia Del Bloque De Hormigón"*.2017 Silkeblock - Silkeborg S.A. Argentina, Acceso 21 Jun <<http://silkeblock.com/historia-del-bloque-de-hormigon/#:~:text=Los%20Bloques%20de%20hormig%C3%B3n%20fueron,1905%20en%20su%20forma%20primaria.&text=Adem%C3%A1s%20de%20sus%20innegables%20beneficios,ambiente%20generando%20ahorros%20energ%C3%A9ticos%20permanentes>>

Normativas:

- *"Reglamento Cirsoc 501-E"*. 2007 Cormela.com.ar. Publicación Web. Acceso 5 Feb. 2020 <<http://www.cormela.com.ar/docs/CIRSOC501E.pdf>>

Sustentabilidad:

- Hernández Moreno, Silverio. 2008 "*Sustentabilidad*". *Web.Uaemex.Mx*, Publicación Web. Acceso 3 Dic. 2019. <<http://web.uaemex.mx/plin/colmena/Colmena%2059/Colmenario/SHM.html>>.

Materiales:

- Elster, J. *El Cemento De La Sociedad*. 1991.
- Gabalec, María Anabela. "Wayback Machine". *Web.Archive.Org*, 2008. Acceso 1 Nov 2019. <https://web.archive.org/web/20130717235732/http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/Tesis2008_Anabela-Gabalec_Tiempo-de-Fraguado-del-Hormigon.pdf>
- Tecnología de los Materiales. 2014 "*Agua Para Concretos Y Morteros*". Publicación Web. Acceso 1 Nov. <<https://moreialuisa.blogspot.com/2014/11/capitulo7.html>>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. 2001 "*Materiales: Calidad Del Hormigón*"
- "*Relación Agua – Cemento*". 2017 *Civilgeeks.com*. Acceso 5 Feb 2020. <<https://civilgeeks.com/2017/06/21/la-relacion-agua-cemento/>>
- "*Arena, Tipos Y Clasificaciones*" 2017 *Cementoscibao.com*. Publicación Web. Acceso 7 Feb 2020. <<https://www.cementoscibao.com/arena-sus-tipos-y-sus-clasificaciones/>>
- "*Arena Volcánica*". 2010, *Quiminet.com*. Publicación Web. Acceso 5 Feb 2020 <<https://www.quiminet.com/articulos/como-se-forma-la-arena-volcanica-41511.htm>>

Botellas PET:

- Durán, José. 2010 “*Nuevos Desarrollos En La Modificación Y Procesamiento Del PET Con Aplicación En Envase*”. Acceso 5 Feb 2020. <<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/383/1/Jose%20Alberto%20Duran%20Duarte.pdf>>
- Cairplas 2018, Acceso 14 Nov 2019. <<https://cairplas.org.ar/>>

Aislamiento térmico:

- “*Principios De Transferencia De Calor*”. 2012. Kreith, Frank et al. Cengage Learning Editores,
- “*Ciencia E Ingeniería De Los Materiales*”. 2004 Askeland, Donald R., y Pradeep P. Phulé. 4th ed.
- Muñoz, C., A. Bobadilla. 2012 “*Simulación Y Evaluación De Puentes Térmicos*”. Acceso 5 Feb 2019. <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2012000200009>