



MAESTRÍA INTERDISCIPLINARIA EN ENERGÍA 2012 – 2013

Tesis

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

Maestrando: Arq. Juan Carlos Patrone

Director de tesis: Dr. Arq. John Martin Evans

Buenos Aires mayo de 2017

Resumen

La presente tesis pretende cuantificar la energía consumida en la construcción de obra gruesa de una construcción convencional, de una vivienda del Plan Federal Nacional ubicada en el Gran Buenos Aires, comparada con otras similares construidas en tierra. Se plantean variantes construidas con distintas técnicas, las más tradicionales en argentina, adobe, tapia, quincha y BTC. No se tienen en cuenta las instalaciones ya que se las considera iguales en todos los casos.

Mediante simulaciones se verifico el cumplimiento de las normas IRAM 11601, 11604 y 11605, de las distintas viviendas, en los tres niveles de acondicionamiento térmico, A, B y C que fija la norma IRAM 11604. Fundamentalmente se considero el nivel B, requerido por la Ley 13059 Eficiencia Energética en Edificios de la Provincia de Buenos Aires (2003)

En función de un pormenorizado cómputo métrico, se cuantifico la energía incorporada de los materiales constitutivos de cada vivienda en sus distintas variantes, incluido su transporte y colocación en obra, comparando la vivienda de construcción convencional con las distintas variantes de construcción con tierra.

Se evaluó el costo económico de cada una de las viviendas para contar con otro elemento comparativo de las mismas.

Los resultados obtenidos en la investigación califican positivamente, a las viviendas de tierra con menor energía incorporada, la variante que mayor energía incorporó fue la de construcción con bloques de tierra comprimidos (BTC) que tiene solo el 32 % de la energía incorporada por la vivienda convencional, mientras que la construida con adobe solo tiene el 24 % de la energía incorporada por la vivienda convencional.

El costo económico también califica mejor que la vivienda convencional, pero dado que el costo de estas es aproximado por no tener en plaza precios estandarizados, la evaluación no es verificable como la convencional.

El costo energético acumulativo a lo largo de los años es prácticamente igual ya que todas las viviendas dentro de cada categoría alcanzan el mismo nivel de aislación térmica fijado por la norma, pero las de tierra al consumir menor energía durante su construcción siempre se ubicaran por debajo de las convencionales.

Indice	pagina
Resumen	I
Indice	II
Reconocimientos	iii
Glosario:	IV
Capítulo 1: Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteo del Problema	2
1.3. Hipótesis	4
1.3.1. Términos utilizados en la hipótesis	4
1.4. Objetivos	5
1.4.2. Objetivos Generales	5
1.4.3. Objetivos Específicos	5
1.5. Metodología	6
1.6. Estructura	7
Capítulo 2: Antecedentes	9
2.1. Estado del Arte	9
2.2. Enfoque Histórico Tecnológico	11
2.3. Tecnicas Constructivas	13
2.4. Centros de Estudio	17
2.5. Conocimiento de la Capacidad Térmica	18
• Contenido Energético	19
2.5.2 Aspectos Relativos a la Salud	20
2.6. Aspectos Relativos a la Sustentabilidad	21
• Impacto Ambiental	21
• Resumen de sus Características	22
2.7. Conclusiones	22
Capitulo 3: Comportamiento térmico	24
3.1. Introducción	24
3.2. Procedimiento	24
3.3. Características térmicas de muros	27
3.4. Características térmicas de techos	34
3.5. Estudios de Caso	35
3.6. Conclusiones	36

Capítulo 4 Evaluación energética en la Construcción con tierra	38
4.1. Introducción	38
4.2. Comportamiento Térmico	38
4.3. Procedimiento	39
4.4. Perdidas de Energía	42
• Resumen	46
4.5. Conclusiones	49
Capítulo 5: Energía incorporada en la Construcción con tierra	50
5.1. Introducción	50
5.2. Procedimiento	50
5.3. Variantes constructivas y contenido energético	51
5.4. Conclusiones	63
Capítulo 6: Evaluación económica en la Construcción con tierra	65
6.1. Introducción	65
6.2. Costos económicos	67
6.3. Conclusiones	73
Capítulo 7: Conclusiones	75
7.1 Introducción	75
7.2. Resultados y Fundamentos de la Hipótesis	76
7.3. Relevancia de los Resultados	76
7.4. Transferencia y Aplicación de los Resultados	79
Referencias	80
Anexos	85
Anexo 1. Tablas de transmitancia térmica	85
Anexo 2. Tablas de perdidas volumétricas	93
Anexo 3. Planos	108
Anexo 4. Tablas de cálculos métricos	114
Anexo 5. Estudios presentados en congresos	123

RECONOCIMIENTOS

A la colaboración desinteresada que me brindaron muchas personas para la concreción de este trabajo.

Mi familia y amigos por el tiempo que no les dedique.

A mi tutor John Martin Evans por su paciencia y consejos para llevar a buen puerto este trabajo.

A Luciano Agustín Patrone por su ayuda en el armado y diagramación del trabajo.

Silvia de Schiller por su valiosa ayuda en la corrección del estilo del documento.

GLOSARIO

Adobe: Mampuesto de barro plástico moldeado, con el cual una vez seco se construye muros utilizando argamasa de barro.

Amplitud térmica: Diferencia entre la temperatura máxima y mínima de un período, pudiendo ser diario, mensual, etc.

Bioclimatismo: Concepción de la arquitectura que tiende a utilizar los elementos favorables del clima, para satisfacer las exigencias del confort térmico, a través del diseño arquitectónico

BTC: Bloque de tierra comprimida, mampuesto fabricado por medio de una maquina, que puede ser manual, utilizando tierra húmeda, es común estabilizarlo con cemento o cal, con el cual se construye muros.

Chagas Mazza: Enfermedad llamada mal de Chagas Mazza, es endémica de América, distribuyéndose desde México hasta Sudamérica. La enfermedad tiene mayor prevalencia en las regiones rurales más pobres de América Latina. Se propaga a través de un insecto, Triatoma infestans llamado vinchuca, que trasmite el parasito cuando defeca sobre la picadura que él mismo ha realizado para alimentarse

Champa: Trozo de la capa superficial del suelo con el entretejido de raíces de pasto, cortado a pala y extraído para construir muros con la humedad natural del suelo sin agregado de argamasa.

Cob: Técnica de construcción de moldeo directo, consiste en formar una bola de barro y apilarla una a continuación de otra para construir un muro, que se conforma con las manos, muy utilizada en Europa, principalmente en Inglaterra.

Conductancia: Indica la propiedad de un muro de conducir el calor para una superficie unitaria a través de este.

Conductividad térmica: Indica la propiedad de un material en el desplazamiento de la energía calórica que lo atraviesa según su superficie, espesor y la diferencia de temperatura entre ambas caras. Se mide por metro cuadrado de superficie, por metro de espesor y por grado centígrado de diferencia de temperatura entre las caras opuestas

Confort: Sensación compleja de bienestar que depende de factores físicos, fisiológicos y psicológicos, sin intervención de los sistemas termorreguladores del hombre.

Desarrollo sustentable: Crecimiento económico con justicia social y equilibrio ambiental

Disposición final: Destino final de los materiales luego de la demolición de un edificio.

Energía convencional: Es la producida por la quema de combustibles fósiles, principalmente carbón, petróleo y gas, causantes de la mayor emisión de gases de efecto invernadero "GEI".

Estabilizante: Elemento o acción que modifica el suelo para mejorar su eficiencia, resistencia mecánica o térmica, pudiendo ser químico, natural o mecánico

GEI: Gases de efecto invernadero, desprendidos fundamentalmente por la combustión de combustibles fósiles.

Grados Día: Se establecieron considerando los días del año con temperaturas medias inferiores a 14°C y temperaturas mínimas inferiores a 9°C, cuando se requiere energía para calefacción.

Higrotérmico: Referido al confort higrotérmico, definido como la ausencia de malestar térmico, situación en la que el hombre no necesita la intervención de los sistemas termorreguladores.

Humedad relativa: Cociente de la cantidad de vapor de agua contenido por el aire, por la cantidad máxima que puede contener en las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Se expresa en % inferior o igual a 100%.

INPRES: Instituto Nacional de Prevención Sísmica, edita el Nuevo Reglamento INPRES-CIRCO 103, "Reglamento Argentino Para Construcciones Sismorresistentes"

Inercia térmica: Propiedad que tiene un muro de retrasar y disminuir la onda térmica exterior al transmitirla al ambiente interior, siendo su capacidad térmica la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una unidad de volumen en un grado centígrado de diferencia.

Quincha: Técnica mixta consiste en una estructura de madera y/o cañas posteriormente embarrada. Muy usada en la zona andina, principalmente en Colombia, Perú, Chile y también en el Paraguay

Resistencia térmica: Propiedad de un elemento de oponerse al paso del calor.

Suelo-cal: Suelo estabilizado con cal

Suelo-cemento: Suelo estabilizado con cemento, se suele incorporar de 6% a 12% de cemento del volumen total de suelo.

Tapia: Muro construido con la técnica de tapial, consiste en apisonar tierra húmeda en sucesivas capas, llamadas tongadas, dentro de un encofrado.

Terrón: Técnica constructiva similar a la champa muy utilizada en el Uruguay.

Tierra alivianada: Técnica constructiva consistente en amalgamar paja u otras fibras vegetales con una lechada de barro dentro de un bastidor.

Transmitancia: Indica la propiedad de un muro de conducir el calor para una superficie unitaria. Coeficiente "K" se expresa en W/m^2K

Capítulo I: Introducción

1.1 – INTRODUCCIÓN

La energía requerida, en la construcción y elaboración de los materiales necesarios para su concreción, fue aumentando y complejizándose con el correr del tiempo, llegando hoy a la utilización de sistemas constructivos muy eficientes en el ahorro de mano de obra y tiempos de ejecución, pero aumentando exponencialmente su consumo energético. La mano de obra artesanal fue reemplazada por procesos industriales que consumen energía derivada del petróleo provocando además, mayores emisiones de gases de efecto invernadero.

La tierra como material constructivo tiene características ambientales destacables (Patrone, 2004), como su capacidad térmica, que permite acumular calor durante el día para entregarlo al ambiente durante la noche cuando baja la temperatura, proceso que produce un ahorro energético muy importante en zonas donde el salto térmico es superior a 10°C. También puede actuar como aislante térmico considerable si se lo trabaja con cantidades importantes de fibras vegetales. Su capacidad higrométrica, que le permite regular la humedad ambiente, la escasa utilización de energía para su concreción, inclusive sus costos de producción y su destino final de volver a ser tierra, son económica y ambientalmente reducidos.

Para comprobar las ventajas energéticas de la construcción con tierra, es necesario estudiar en detalle las ventajas y desventajas energéticas a fin de verificarlas y cuantificarlas. En esta tesis, se analiza el comportamiento energético de la construcción de tierra frente a la construcción convencional, se compara la obra gruesa de viviendas similares verificando sus capacidades térmicas, la conductividad térmica de sus componentes y sus pérdidas calóricas volumétricas, las energías incorporadas en sus materiales, comparando sus resultados, la energía utilizada para su concreción, su costo monetario y su desempeño durante su vida útil, evaluando estos parámetros con resultados satisfactorios.

Incentivar la utilización de la construcción con tierra en zonas suburbanas y rurales dentro del territorio nacional, en pos de una reducción efectiva del consumo energético, con una implementación generalizada, favorecerá el ahorro energético y el desarrollo sustentable del ámbito construido.

1.2 - PLANTEO DEL PROBLEMA

Frente al existente constructivo con materiales y técnicas tradicionales que consume el 30 % de la energía producida y emite el 25 % de los GEI (Evans, 2004), la alternativa de la construcción con tierra, actualización de la construcción histórica, es una meta favorable en un futuro mediano, teniendo en cuenta que la energía necesaria para construir un bloque de hormigón es igual que la necesaria para construir 300 bloques de barro (Bardou y Arzoumanian 1981). La necesidad de incrementar la investigación en este campo, junto al dictado de normativas que la equiparen con la construcción convencional y un apoyo oficial, es imperiosa. El consumo creciente de energía, la limitación de los combustibles fósiles, las dificultades en revertir la producción de energía convencional por energías renovables, las dificultades en modificar la industria del transporte para que consuma energías limpias, hace de la eficiencia energética en la edificación un instrumento válido, ya que el rubro consume aproximadamente el 30 % de la energía producida en el país (MINEM, 2017). Si el consumo es = demanda / rendimiento, y si el objetivo de la eficiencia energética es reducir el consumo de energía en los edificios, luego para ello podemos:

- a) reducir la demanda.
- b) aumentar el rendimiento de los sistemas.
- c) actuar simultáneamente sobre la demanda y los sistemas.

En términos generales, es más eficiente y más económico disminuir la demanda del edificio que aumentar el rendimiento de los equipos, si bien la optimización se consigue realizando ambas acciones simultáneamente.

En Argentina, dado que la construcción 'natural' está fundamentalmente representada por la construcción con tierra, el objeto de este estudio se circunscribe a este campo en las distintas variantes utilizadas en el país, tales como: muros de adobe, de tapia, de bloques de tierra comprimida "BTC", con moldeo directo "cob", con técnicas mixtas "quincha" de madera o cañas embarradas, con techos verdes y pisos de tierra, de madera, o distintas combinaciones entre ellos.

Respecto a la construcción convencional, la construcción con tierra ahorra energía no solo durante el proceso constructivo sino también durante su vida útil, inclusive en su disposición final (Vázquez Espí, 2001). La motivación de esta tesis es cuantificar estas ventajas.

La construcción realizada con materiales naturales, sin modificaciones de su estructura molecular, extraídos de la naturaleza mediante procedimientos mecánicos, utilizando la menor cantidad de energía posible. Procurando que la mayor cantidad de energía utilizada sea renovable, sin utilizar elementos, sustancias o sistemas

contaminantes y que la construcción resultante requiera la menor energía posible para cumplir su función respetando niveles de confort aceptables. Aprovechando la mayor energía renovable (solar, eólica, termal, etc.) disponible, utilizando las estrategias bioclimáticas necesarias para obtener la mayor eficiencia y disponer de un plan de disposición final no contaminante. Junto a la reconversión de la producción energética, el transporte y la industria utilizando energías limpias, nos permitirá mitigar el calentamiento global, meta imprescindible para legarle a las generaciones futuras un mundo mejor.

Se deben cumplir dos instancias: primero, conseguir mayor eficiencia durante el proceso constructivo, que implica no solo utilizar la menor cantidad de energía en el acto de concretar la edificación, sino en la elección de materiales cuyo proceso de fabricación no haya demandado excesiva energía, productos químicos, emisión de gases de efecto invernadero, ni gran costo de transporte hasta su ingreso a obra y luego, obtener la mayor eficiencia energética en el funcionamiento del edificio durante toda su vida útil (Grande Turcios y Guevara Ayala, 2012).

Si bien la mayor eficiencia energética en edificación se logra con un buen diseño bioambiental, la construcción con materiales naturales puede contribuir con una importante reducción del costo energético de su construcción y el costo energético de la producción de materiales convencionales, pero las propiedades térmicas de la tierra son las que mayor beneficio pueden aportar. Las construcciones de tierra poseen muy buena inercia térmica y una aislación aceptable, dependiendo de la densidad del elemento construido (Patrone y Evans, 2012), tendrá mayor inercia o mayor aislación según la técnica constructiva adoptada. Las técnicas de tapial o BTC, que se basan en tierra comprimida, tienen mucha densidad y, por lo tanto, buena inercia térmica. Las técnicas de barro plástico, adobe, cob, quincha, paja embarrada y tierra alivianada, dependerán de la cantidad de paja que se incorpore en la masa de barro para obtener mejor aislación térmica (Evans, 2004).

Las características térmicas de construcción con tierra son relevantes en la actualidad a fin de cumplir los objetivos del Decreto N° 140/07 (2007) y con nuevas normas obligatorias de aislación térmica, tales como la Ley 13.059 de la Provincia de Buenos Aires, considerando que algunas alternativas de construcción con tierra, como la tapia y los BTC, no cumplen con la Norma IRAM 11.605 (1996) es necesario capas adicionales de aislantes térmicos.

1.3 - HIPÓTESIS

La construcción con tierra, comparada con la construcción convencional, permite lograr una reducción de la demanda de energía convencional y mejorar las condiciones de confort térmico, durante su proceso constructivo y durante su vida útil, en las condiciones bioclimáticas templadas de Argentina.

En su faz constructiva por ser un material que requiere muy bajo contenido energético para su obtención, elaboración y construcción. Ahorrando energía durante su vida útil por sus características térmicas, baja conductividad e inercia térmica, muy apropiada para la obtención de confort en edificios optimizando las estrategias bioambientales, en climas templados y templados fríos en Argentina.

1.3.1 - Términos utilizados en la hipótesis:

A continuación se presenta términos utilizados en la hipótesis: Anexo 9 presenta un glosario de los términos especializados utilizados en esta tesis.

- **Climas templados y templados fríos:** corresponde a las Zonas Bioambientales III y IV, Norma IRAM 11.603, la zona más poblada del país que incluye la Prov. de Bs As, Centro de Córdoba y sur de Santa Fé.
- **Energía convencional:** Es la producida por la quema de combustibles fósiles, principalmente carbón, petróleo y gas, causantes de la mayor emisión de gases de efecto invernadero "GEI".
- **Conductividad térmica:** Indica la propiedad de un material en el desplazamiento de la energía calórica que lo atraviesa según su superficie, espesor y la diferencia de temperatura entre ambas caras. Se mide por metro cuadrado de superficie, por metro de espesor y por grado centígrado de diferencia de temperatura entre las caras opuestas ($W.m/m^2.°C$ o $W/m °C$) (Jean Louis Izard y Alain Guyot - 1980).
- **Inercia térmica:** Propiedad que tienen los materiales para retrasar y disminuir el paso de la onda térmica a través de ellos entre dos caras opuestas, siendo su capacidad térmica la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una unidad de volumen en un grado centígrado de diferencia. (Patrick Bardou y Varoujan Arzoumanian, 1981).
- **capacidad calórica:** Es la capacidad que tienen los materiales de acumular calor en su masa, cuanto mayor sea su densidad específica, mayor será su capacidad térmica. (Edward Mazria, 1983). La combinación de inercia térmica

debida a la masividad y gran densidad de las construcciones de tierra, y la posibilidad de ser estabilizada con abundante fibras vegetales para conferirle suficiente aislación térmica, asociado al bajo costo del material, permite que estas construcciones murarías obtengan un importante ahorro energético, gran eficiencia energética y baja emisión de GEI durante su vida útil (Charles Chauliaguet, 1978). La construcción con materiales naturales, reduce significativamente el gasto energético producto de la extracción, transformación e industrialización de los materiales convencionales. Por lo tanto, en virtud de todo lo expresado en la edificación construida con materiales naturales, se obtiene eficiencia y ahorro energético, comparativamente con la construcción con materiales convencionales y/o industrializados, durante su proceso constructivo y su vida útil.

- **Diseño bioambiental:** Es el diseño arquitectónico necesario para cumplir con las condiciones de confort en edificios, basado en estrategias bioambientales en función de: ventilación cruzada, ventilación selectiva, inercia térmica, enfriamiento evaporativo, aislación térmica, orientación geográfica, ganancia solar, asoleamiento, protección solar y reparo de los vientos.
- **Confort:** Es la condición ambiental necesaria e imprescindible para que un ser humano se sienta cómodo, pleno y predispuesto para desarrollar una tarea determinada en un espacio controlado. (Olgay, 1963)

1.4 - OBJETIVOS

1.4.1 - Objetivos generales:

- Determinar y cuantificar la reducción del consumo energético de la construcción de tierra durante su factura y durante la vida útil de la misma, frente a la construcción convencional.

1.4.2 - Objetivos específicos:

- Determinar la reducción de consumo energético durante la construcción de una edificación de tierra comparada con la construcción convencional.
- Determinar qué tipo de muro y techo construido con tierra cumple con la Ley 13.059 (2010) Eficiencia Energética en Edificios, de la Provincia de Buenos Aires y las Normas Mínimas de la Secretaría de Vivienda de la Nación.

- Adecuar la construcción con tierra para cumplir con la Norma de la Prov. de Buenos Aires.
- Adecuar la construcción con tierra para cumplir con el Nivel B de la Norma IRAM 11605.

1.5 - METODOLOGÍA

Se realizara el despiece de una construcción en sus diversos materiales, cuantificando la energía para fabricar, transportar y colocar materiales en obra, incorporada por m³ de cada uno de ellos, o sea el contenido energético de los materiales. Se tomará como ejemplo una vivienda similar a uno de los prototipos del Plan Federal de Viviendas en la Provincia de Buenos Aires, construida con materiales convencionales. Se proyectarán similares construidas con diversas técnica de tierra que serán evaluadas con simulaciones calibradas mediante planillas electrónicas.

Se verificara el ahorro energético inicial del material tierra en sus diversas técnicas, comparado con materiales convencionales.

Sobre la base de mediciones realizadas sobre edificaciones construidas con distintas técnicas de tierra y construcciones realizadas con materiales convencionales, se propone realizar simulaciones calibradas con mediciones reales para establecer la precisión de dichas simulaciones (Patrone y Evans, 2012).

Se analizarán las características térmicas, energéticas y ambientales de edificaciones construidas con materiales convencionales a fin de establecer un punto comparativo para la evaluación del costo energético de las mismas.

Complementariamente, se revisarán las Normas IRAM (1972-2012) que establecen los límites mínimos admisibles para vivienda de interés social, y la Ley 13.059 de la Provincia de Buenos Aires (2005), que establece las condiciones térmicas de todos los edificios de la Provincia de Buenos Aires, para verificar la adecuación de las construcciones de tierra a estas Normas.

Mediante simulaciones calibradas se verificará el comportamiento higo-térmico, la mayor eficiencia energética y reducción del costo energético económico de la construcción con tierra respecto a la construcción con materiales convencionales.

1.6 - ESTRUCTURA

La tesis que se presenta a continuación está organizada en siete capítulos cuyo contenido se describe:

Este primer capítulo aborda la introducción de la arquitectura de tierra y su tecnología en relación con el ahorro energético, plantea la hipótesis, explica los objetivos y alcances del estudio, presentando la estructura de la tesis en una secuencia que responde a la metodología propuesta.

En el segundo capítulo se analiza el estado del arte, el enfoque histórico tecnológico con una presentación de los distintos tipos de construcción en tierra a nivel mundial, regional y local. Se presenta un análisis de los estudios del comportamiento térmico del material y sus aspectos relativos a la sustentabilidad, salud, impacto ambiental y otras características destacables del mismo.

El tercer capítulo presenta el estudio de las características térmicas de la envolvente de las viviendas comparando la vivienda de construcción convencional con otras construidas con diversas técnicas en tierra como adobe, tapia, quincha y BTC. En base a la documentación de cada vivienda, planos, planillas de locales y carpinterías, se verifica el comportamiento térmico de las mismas mediante las planillas electrónicas (Evans 2002) para el cálculo de la transmitancia térmica “K” de muros y techos componentes de la envolvente. También se presentan estudios de caso de investigaciones realizadas sobre el comportamiento de viviendas de tierra comparadas con otras de construcción convencional.

El cuarto capítulo presenta un estudio comparativo sobre la demanda de energía de las viviendas en estudio, demanda correspondiente a las pérdidas de calefacción en invierno. Se determinan las mismas utilizando la metodología de la Norma IRAM 11604 (1987). Se verifica el coeficiente volumétrico de pérdida de calor de la vivienda “G”. Luego se compara el valor de G calculado con las máximas admisibles fijadas por la misma Norma IRAM y con los valores de las pérdidas calóricas totales se determina la carga térmica anual de calefacción, según Norma IRAM 11604, lo que posibilita estimar la energía necesaria para calefaccionar el edificio durante un año.

El quinto capítulo presenta un estudio comparativo sobre la energía incorporada en los materiales constructivos de las viviendas en estudio. En función del cómputo métrico de los materiales de cada una de las viviendas se determina la energía incorporada a la misma, comparándose las distintas alternativas constructivas en tierra con la vivienda convencional.

El sexto capítulo analiza el costo monetario de las viviendas en estudio, sobre el cómputo métrico de los materiales de cada una de las viviendas se determina el valor

monetario de las mismas. Se comparan los presupuestos finales de las distintas alternativas constructivas.

Finalmente el séptimo capítulo presenta las conclusiones, verifica la comprobación de la hipótesis presentada, analiza la aplicación de la metodología a distintas regiones, explica las limitaciones y alcances de las conclusiones y propone áreas de estudio futuro.

Los anexos presentan planillas y tablas con cálculos detallados, los planos de las distintas alternativas, ponencias presentadas en distintos congresos y publicaciones sobre la investigación térmica realizada.

El próximo capítulo presenta el estado del arte con antecedentes de la construcción con tierra, el enfoque histórico tecnológico, las técnicas constructivas de tierra más utilizadas en el país, el conocimiento de la capacidad térmica y aspectos relativos a la sustentabilidad, salud y otras características.

Capítulo 2 Antecedentes

2.1 – ESTADO DEL ARTE

A lo largo de la historia los materiales naturales fueron utilizados por el hombre para resolver sus necesidades habitacionales, desde los inicios de la civilización construyó sus primeros cobijos con los elementos que obtenía de su entorno, que con el tiempo se convirtieron en casas, pueblos y ciudades, así fue desarrollando distintas técnicas constructivas acordes con los materiales del lugar, las influencias climáticas, las necesidades concretas acordes a su cultura y los conocimientos empíricos que se fueron transmitiendo en el transcurso de las generaciones. También frente a la escasez de recursos que le proporcionaba la naturaleza, aprendió a obtener de la misma los beneficios que le podían aportar el viento, la lluvia y fundamentalmente el sol para conseguir espacios más confortables utilizando no solo los materiales más apropiados sino también estrategias de diseño que le permitiese el aprovechamiento más eficiente de los recursos energéticos de la naturaleza (Evans, 2004), esto se ve claramente plasmado en los innumerables ejemplos que brinda la arquitectura vernácula, donde el conocimiento empírico acumulado durante el correr de los siglos presenta soluciones arquitectónicas de excelencia en la resolución de confortables espacios construidos con los materiales aportados por la naturaleza conjugando estrategias para el mejor aprovechamiento de las energías que la naturaleza brindaba (Sosa, 2007).

Los materiales utilizados fueron, maderas, ramas, cañas, hojas de plantas, cueros de animales, fibras vegetales, piedra y fundamentalmente tierra, que es el material más abundante y disponible sobre la faz del planeta. Material que desde la antigüedad se viene utilizando, produciendo soluciones constructivas y formas que posteriormente fueron imitadas por otras técnicas como en el caso de la piedra en las construcciones faraónicas (Viñuales, 2012). La construcción con tierra se ha desarrollado a lo largo de los siglos hasta nuestros días, con más de veinte técnicas diferentes, hoy más de un tercio de la población mundial habita en viviendas de tierra o con componentes de barro, o parcialmente construidas con estas técnicas, distribuidas en los cinco continentes. (Minke, 2001) Ver figura 2.1

Hasta el advenimiento de la Revolución Industrial, hacia fines del Siglo XVIII, la construcción continuó evolucionando, mejorando las técnicas constructivas tradicionales, pero cuando el hombre comenzó a producir energía (maquina a vapor)

reemplazando la energía que la naturaleza le proveía, se inicia la era industrial, y el hombre cree poder dominar la naturaleza.

La investigación físico-química permite la modificación y creación de nuevos materiales, produciendo un desarrollo económico y social único en la historia de la humanidad. Las técnicas constructivas apoyadas en el desarrollo científico tecnológico y, paralelamente, el encarecimiento de la mano de obra, van dejando las prácticas de la construcción artesanal, ligada fuertemente con la construcción natural, como hecho arcaico aceptable solo en las regiones más pobres del planeta (Patrone, 2010). Aparejado a este desarrollo, dos siglos después, aparecen los daños de la polución producida por la industria que afecta al planeta y la salud del hombre y, con la crisis del petróleo de los años 70, se ingresa en la certeza que los combustibles fósiles son finitos, y que el crecimiento económico y social no puede frenarse sino que debe acelerarse, lo que implica mayor consumo y mayor degradación.

Hoy nos encontramos con un mundo contaminado, súper poblado, con recursos energéticos limitados (Bechis y Verzeñassi, 2004), si bien las últimas noticias de la existencia de grandes reservas de *shale oil* y *shale gas* corren el horizonte del abastecimiento de combustibles fósiles, de los cuales dependemos. El desafío es revertir a “mediano plazo” la utilización de combustibles fósiles por energías renovables y bajar la emisión de GEI. Frente a este panorama, la construcción ‘natural’ se presenta como alternativa válida para la reducción del consumo energético residencial y también la reducción de emisiones de GEI.

Actualmente, en la construcción ‘natural’, los materiales más utilizados son tierra, madera, caña de bambú, piedra, paja y otras fibras vegetales. Si bien la construcción con madera tiene gran difusión en países boscosos con industria maderera desarrollada, EEUU, países nórdicos, Rusia, el sudoeste asiático, Chile y otros países centroamericanos, la caña de bambú es muy utilizada en los países del sudeste asiático, China y en América, principalmente en Colombia (Garzón, 2012). La piedra, en general, se la utiliza en cimentaciones y sobre cimientos en la zona andina, y la paja y el junco fundamentalmente en techados.

En Argentina, la tierra es el material dominante, siendo los otros, complementos constructivos. La madera, por ejemplo, utilizada principalmente como estructura independiente, generalmente en rollizos o aserrada para entrepisos, techos y algún revestimiento exterior. La piedra, es utilizada en zonas serranas y cordilleranas y también fundamentalmente en cimentaciones y sobre cimientos en edificaciones de tierra. La paja, generalmente rastrojo de trigo, es usada como agregado en la construcción de adobes, en el barro para ‘quincha’ en la tierra alivianada, una técnica de paja embarrada y técnicas de moldeado directo con barro como la llamada *cob*,

además de ser muy usada en techos, en el Litoral y la Pampa Húmeda. En Uruguay es muy utilizado el junco para la construcción de techados, para la construcción de quinchos, cobertizos de postes y palos techados con juncos atados o cosidos.

Una de las barreras identificadas son las restricciones en los códigos de edificación sobre la construcción con tierra, que son producto de la ausencia de normalización en la gran mayoría de localidades de la Argentina, donde se prohíbe directamente la construcción con tierra en algunos municipios (Municipalidad de Vicente López 2017) y fundamentalmente en zonas sísmicas, donde el INPRES no las considera aptas. Sin embargo esta situación lentamente se está modificando ya que algunos municipios están aceptando e incluyendo en sus reglamentaciones la construcción con tierra, también la Secretaría de Vivienda de algunas provincias del noroeste incluyeron y desarrollaron planes de vivienda.

En oposición países desarrollados como EEUU, Canadá, Alemania, Francia, Australia y otros como Brasil, México, Nueva Zelandia y otros, la construcción con tierra ha alcanzado un nivel de industrialización que les permite competir con la industria de la construcción convencional, comenzando a obtener ventajas comparativas presentándose como industria sustentable de la construcción (designboom (2014)) En estos países no solo desarrollaron la industrialización en obra sino que también recrearon sistemas como el tapial o paja prensada con tecnologías prefabricadas, logrando soluciones de gran calidad, velocidad ejecutiva y sustitución de mano de obra.(SIREWALL – 1991-2016)

2.2 - ENFOQUE HISTÓRICO TECNOLÓGICO

Existe una gran preocupación ambiental a nivel mundial, como la contaminación de los mares con petróleo, los desechos de la energía radioactiva, la contaminación acústica, entre otros.

Los recursos naturales se encuentran amenazados en todos los sentidos: el agua, el suelo y el aire son recursos que están siendo afectados por acciones sin estudios previos que permitan mitigar estos impactos. La reducción de las emisiones de GEI, es una de las características de la construcción con tierra por la escasa energía necesaria para su extracción y elaboración, además la alteración de la naturaleza es ínfima dado que se utilizan las capas no fértiles de la superficie terrestre, reservándose la capa fértil para su utilización en la agricultura y ganadería (González Blanco, 2011).

Existen diversas técnicas constructivas que se adoptan en función de las características de los suelos superficiales existentes y del clima del lugar del emplazamiento de la construcción a llevar a cabo. El suelo utilizado para la

construcción, es generalmente modificado para obtener un material apto a las necesidades constructivas. Esta modificación de su estructura se lleva a cabo estabilizando el material con elementos orgánicos como paja, rastrojo o cascarilla de cereales, excremento de animales, preferiblemente rumiantes, o con la mezcla de otros suelos de características distintas (más arcillosos o arenosos) de las inmediaciones (Patrone, 2012).

La estabilización es en sí una modificación de la estructura natural del suelo y puede realizarse además con el agregado de químicos como cemento, cal, asfalto, yeso y aditivos, o mecánicos como el apisonado o prensado. En estos casos, solo las arcillas sufren modificaciones irreversibles, ya que al ser demolidas las estructuras se transforman en elementos inertes cambiando las características de los suelos, aunque nunca pierden su condición primaria y vuelven a ser suelos generalmente del mismo sitio de donde fueron extraídos (Roux Gutiérrez y Guerrero, 2012). Esta última condición no se produce en otros materiales naturales, también llamados ecológicos, de probadas y reconocidas bondades, como la piedra que no puede volver a ser montaña y la madera que no volverá a ser árbol.

En el transcurso de la historia hemos sido testigos de civilizaciones enteras que desarrollaron sus culturas en ámbitos construidos en adobe, tapia, entramados embarrados y otras técnicas locales, ver figura 2.1

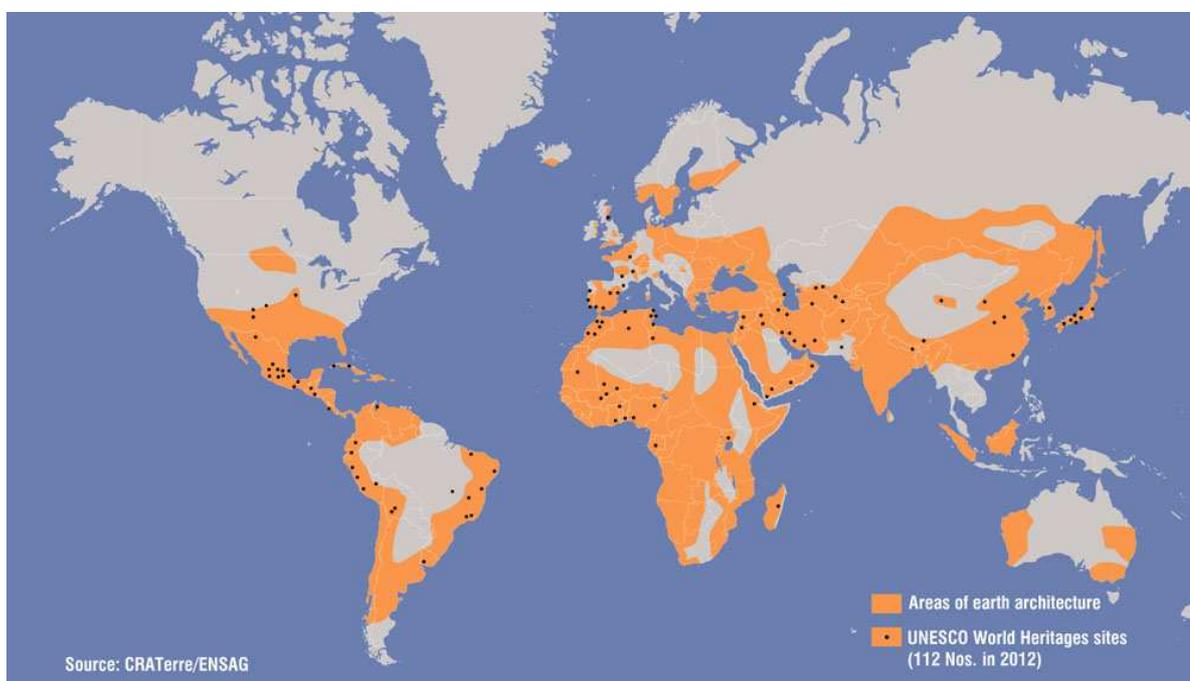


Figura 2.1: Áreas con construcciones de tierra (mapa de Craterre)

Hoy sigue siendo la tierra el más abundante y mejor elemento constructivo no tóxico, totalmente reciclable, muchas veces el único material con que cuentan ciertos pueblos o grupos humanos (Viñuales, 2005). Esta situación, lamentablemente, ha dejado a la tecnología de tierra un espacio reducido a bolsones de pobreza y marginalidad existentes en países subdesarrollados, confundiendo arquitectura de tierra con atraso y pobreza, desconociendo valores culturales preexistentes en distintas sociedades y la excelente respuesta de la tierra como material constructivo a las exigencias climáticas de diversas regiones.

Otras de las características de este material es la baja energía consumida, tanto en su elaboración donde no intervienen procesos industriales y se minimiza la energía en transporte, como en su construcción, cuya energía puede ser renovable ya que todo el proceso puede ser manual (de Benito, 2007).

Entre sus características la capacidad del control de la humedad relativa en el interior de las edificaciones también es relevante, ya que tiene la propiedad de absorber y devolver vapor de agua al aire, atenuando los excesos y defectos de humedad en los ambientes, hecho que contribuye al cuidado de la salud de sus ocupantes al mantener una humedad relativa alrededor del 50 %, humedad ideal para el confort y bienestar humano (Minke, 2001).

Sin embargo, hoy, en los países centrales Europeos, América del Norte y Australia es donde se comienza a rescatar estas tecnologías desde una óptica bioambiental que permite comprender las propiedades de este material constructivo para el cuidado del medio ambiente, revalorizándolo dentro de la arquitectura contemporánea. Produciéndose arquitectura de tierra de gran calidad, con incorporación de tecnología contemporánea, Potenciando las características del material e implementando estrategias bioclimáticas para reducir el consumo energético y la emisión de gases de efecto invernadero.

La experiencia del gobierno de Francia de 1985 en la ciudad de Isle d' Abeauen en la región de Dauphiné, donde construyó 65 viviendas de tierra cruda en un emprendimiento denominado "*Domaine de la Terre*", un ejemplo con un impacto realmente importante, tanto en Francia como internacionalmente. (Guillaud, H. 2011)

2.3 – TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

Las técnicas de construcción con tierra son varias, las más utilizadas son: el adobe, el tapial, la quincha englobada en lo que se denominan técnicas mixtas, el moldeado directo, el BTC (bloques de tierra comprimida), la champa o terrón, fardos de paja y otras.

- **Adobe:** Técnica muy antigua, existen construcciones de más de 5.000 años de antigüedad, inicialmente se moldeaban los mampuestos manualmente, se dejaban secar y con el mismo barro como argamasa se construía; con el surgimiento de las civilizaciones, para acelerar el proceso constructivo, fabricaron moldes de madera para cortar los adobes, se inicia la producción seriada para la construcción de templos, palacios y murallas. Hoy subsisten muchos sitios arqueológicos con construcciones de adobe (ver Fig.2.2).

Con esta técnica se producen muros portantes generalmente de gran espesor planteando una arquitectura muraria continua y de gran impronta. Con el transcurso de la historia el adobe fue siendo reemplazado por el ladrillo cocido manteniendo la misma impronta, quedando el adobe relegado para las poblaciones más pobres.

- **Tapial:** Técnica tan antigua como la anterior basada en el apisonado de tierra dentro de un encofrado, generalmente se utiliza suelos arenos arcillosos con grava y piedra, que le da mayor resistencia a la compresión, siendo hoy la más evolucionada e industrializada. (Ver Fig. 2.2)

Técnica muy utilizada en construcciones militares, como la Gran Muralla China que se inicia en el siglo V a c, principalmente construida con troncos y tierra apisonada, luego revestida en diversos tramos con capas de piedra o ladrillos cerámicos. En Europa principalmente en Francia conocida como pise y en España fue muy utilizada, (del Río Muñoz 2015) no solo en construcciones rurales sino también en castillos neoclásicos junto con piedra y ladrillos cerámicos, en el sur de España la cultura musulmana construyó la fortaleza de la Alhambra, uno de sus mayores exponentes.

En América los pueblos originarios ya construían con esta técnica, con la llegada de los colonizadores españoles, se produce una sinergia constructiva dejando excelentes obras en toda la América Hispana. El territorio Argentino receptor de la misma corriente todavía conserva algunos ejemplos de iglesias y edificios construidos en esa época.

- **Quincha o Bahareque:** Técnica mixta consiste en una estructura de madera y/o cañas posteriormente embarrada. Muy usada en la zona andina, principalmente en Colombia, Perú, Chile y también en el Paraguay. Consta de tres componentes, los edificios están constituidos por una estructura portante, llamada maestra, una auxiliar llamada montura y una osamenta, generalmente constituida por cañas y el relleno que consiste en un embarrado (barro y paja plástica) sobre el cual se aplican revoques de tierra

El término “quincha” es una palabra quechua que está vinculada al uso de la caña, es un sistema sismoresistente desarrollado en Perú durante el virreinato para edificar

uno o dos pisos por encima de la planta baja, denominada quincha legítima para diferenciarla del bahareque. (ver Fig.2.2).

- **BTC:** Bloques de tierra comprimida, es la técnica más moderna, desarrollada en Colombia por el Ing. Raúl Ramírez (Ramírez 1956). En el Centro Interamericano de Vivienda (CINVA), quien diseñó una máquina compresora manual - CINVA RAM, que produce bloques de tierra con los cuales se construyen muros portantes.

Está considerada como una de las tecnologías latinoamericanas más difundidas en el mundo. Sobre la base de esta se han desarrollado gran variedad de máquinas manuales e hidráulicas. Es muy frecuente estabilizar los bloques con cemento o cal, con ellos se construye una mampostería tradicional utilizando argamasa de tierra. Los modelos de maquinarias incluyen varias que comprimen bloques intertrabables, recomendados para zonas sísmicas, se destaca por su calidad, la máquina manual del Ing. Mattone (Mattone 2007). Los mejores suelos para esta técnica son similares los de tapial, areno arcillosos. (ver Fig.2.2).



ADOBE - Depósitos de Luxor - Egipto



TAPIA - Capilla de la Reconciliación-Berlín, Alemania



QUINCHA - Casa Prior - Colombia



BTC - CRIATIC - Tucumán, Argentina



MOLDEO DIRECTO - Técnica zabur - Yemen



TERRON - Casa Decurnex - Colonia, Uruguay

Figura 2.2 - Diversas técnicas constructivas

- **Moldeo directo:** Técnica poco utilizada en la Argentina, consiste en tomar una porción de barro y paja en estado plástico para construir un muro portante, moldeándolo con las manos, no permite avanzar con celeridad ya que hay que esperar que el barro tome la consistencia necesaria para encimar nuevas hiladas, además requiere espesores mínimos de cuarenta centímetros. En la localidad de Navarro Pcia. de Buenos Aires, Argentina se encuentra la Ecoaldeia “Gaia” donde utiliza la técnica de cob.

- **Terrón:** Muy usada en el Uruguay, esta técnica consiste en hacer muros con panes de tierra fértil, se extrae la capa superficial con el pasto incluido, con una pala ancha de un espesor aproximado de diez centímetros y se apila en sucesivas hiladas sin argamasa (ver Fig.2.2). Con esta técnica es necesario primero construir el techo con una estructura independiente y esperar que el muro seque completamente ya que sufre una contracción importante en su altura (C. Alderton 2010). Solo aceptable en lugares con una capa fértil de gran espesor. En Argentina se usa una técnica similar llamada chamba, con la que se hacen muros con panes de tierra no fértil de gran cohesión, extraídos con pala, construyéndose mampostería portante con argamasa de barro plástico.

También existen otras técnicas menos difundidas como bloques extruidos, tierra ensacada, tierra colada, tierra alivianada, fardos de pasto y demás variantes dando una gama muy amplia de posibilidades constructivas.

2. 4 - CENTROS DE ESTUDIO

Existen varios centros de estudio sobre la problemática de la construcción con tierra cruda, dedicados la mayoría a investigar sus aspectos constructivos, estructurales y el patrimonio histórico. Los más importantes en el país son:

- Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, el Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra cruda CRIATIC, el de mayor estructura en el país.
- Universidad Nacional de San Juan, Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat.
- Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, con el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda, CECOVI.
- Universidad Nacional de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Centro de Investigación Hábitat y Energía CIHE y Centro CIDART
- Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, Centro de Estudios del Ambiente Humano

También en otras Universidades Nacionales hay investigadores que estudian distintas disciplinas relacionadas con la construcción y fundamentalmente el patrimonio de tierra cruda.

Internacionalmente los centros más importantes son:

- CRAterre, Laboratorio de Investigación de la Ecole Nationale Supérieur d'Architectur de Grenoble, Francia. Ofrece un programa de formación de postgrado en arquitectura de tierra, reconocido por el Ministerio de Cultura francés, Dirección de Arquitectura y Patrimonio.
- Universidad de Kassel, Alemania, Laboratorio de Investigación de Construcciones Experimentales
- Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, Méjico
- Universidad Politécnica de Madrid, España Instituto de la construcción E. Torroja
- Universidad de Valladolid, España
- Universidad Politécnica de Cataluña Barcelona, España
- Universidad de la República, Facultad de Arquitectura, Montevideo, Uruguay
- Universidad Católica del Perú
- Universidad Central de Venezuela
- Universidad Católica de Chile

- Auroville Earth Institute (AVEI) Fundación dependiente del Gobierno de la India. Uno de los principales centros mundiales de excelencia en arquitectura de tierra.
- Escola Superior Gallaecia (ESG) Portugal,
- Universidad Politécnica de Valencia (UPV) España

2. 5 - CONOCIMIENTO DE LA CAPACIDAD TÉRMICA

Las construcciones de tierra vienen desde sus inicios ofreciendo ventajas adicionales gracias a sus características térmicas, no solo ofrecían un refugio frente a las inclemencias climáticas sino también mejoraban el confort interior de las mismas.

Los muros de tierra tienen una densidad que va de 1300 Kg/m³ en adobes livianos a 2100 Kg/m³ en tapias y BTC, lo que les permite acumular calor y al ser generalmente de gran espesor, les posibilita equilibrar el balance térmico interior; además con tierra alivianada se puede obtener densidades de 750 Kg/m³ que les proporciona una buena aislación en zonas templadas (Minke, 2001).

Dependiendo del clima del lugar y ejecutando las técnicas adecuadas a las exigencias climáticas, se puede aprovechar su gran densidad mediante el uso de tierra apisonada o comprimida, en zonas donde se produce un salto térmico superior a los 10°C para equilibrar el balance térmico, mediante la acumulación de calor durante el día.

Recurrir en zonas templadas, a técnicas como el adobe u otras con utilización de barro plástico, para obtener cierta aislación e inercia térmica, o bien, en zonas con temperaturas más bajas, recurrir a técnicas constructivas como la paja embarrada o utilizar fardos de paja para disponer de una muy buena aislación térmica.

El conjugar la diversidad de suelos, técnicas constructivas y posibilidades de estabilización hacen de la tierra un material versátil, económico y abundante para acentuar el confort térmico.

Los estudios sobre las posibilidades térmicas de la construcción con tierra que se vienen realizando, están en función de demostrar la mayor eficiencia térmica de las construcciones de tierra respecto a las construcciones convencionales de mampostería (Partone 2011).

Estudios realizados por Auroville Earth Institute en edificios de adobe, han comprobado que al aumentar la temperatura exterior y disminuir la humedad relativa, en el interior el edificio actúa como refrigerador, por evaporación, aumenta la humedad relativa y baja la temperatura interior (S. Bestraten et. al 2011).

Acerca del confort térmico investigadores como Givoni, Olgyay e Izard, lo definen de la siguiente manera:

Según Givoni (1977) el confort térmico “es una variedad de condiciones climáticas consideradas confortables y aceptables dentro de los edificios. Implica la ausencia de cualquier sensación de disconfort térmico de calor o de frío”.

Olgyay, (1963) por su parte, define la zona de confort como “las condiciones en que el hombre consigue obtener el equilibrio biológico con el medio ambiente, gastando para ello el mínimo de energía y así la mayor parte de su energía estará libre para realizar otras tareas.”

Conforme a Izard y Guyot (1980) “el confort térmico existe cuando, para una actividad sedentaria , con determinada vestimenta, el sistema termorregulador del cuerpo humano no tiene que intervenir para obtener el equilibrio térmico entre el cuerpo humano y el medio ambiente”.

Una de las definiciones más aceptadas de confort térmico establece que es la “condición mental bajo la cual expresan satisfacción la mayoría de los ocupantes de un determinado ambiente térmico” (Héctor J. González Licón)

■ **Contenido energético**

Las construcciones de tierra se caracterizan por tener un muy bajo contenido energético ya que el material para su construcción es extraído de las cercanías prácticamente sin necesidad de transporte, la preparación del material para mejorar sus condiciones estructurales requiere mínima energía, que generalmente es manual. Inclusive si se requiere energía convencional para mecanismos de mezclado, zarandeado, prensado o apisonado, pisonos o máquinas eléctricas o hidráulicas, el costo energético es poco representativo (Zeltia González Blanco 2011).

La energía incorporada por la fabricación de un ladrillo común es de 3 MJ/Kg, un bloque cerámico tiene 6,9 MJ/Kg y un adobe tiene menos que 0,45 MJ/Kg, o sea que con estos valores ya se puede apreciar que la mampostería de adobe tiene una carga energética sensiblemente inferior. Los procesos constructivos con mayor contenido energético son aquellos que utilizan cemento para estabilizarlo, un suelo estabilizado con un 8% de cemento tiene una energía incorporada de 0,45 MJ/Kg, según el Inventario de Carbón y Energía, (Hammond y Jones, 2011)

La utilización de suelos mejorados, recurso muy utilizado para conseguir una mejor curva granulométrica, en función de obtener mayor resistencia estructural, o la incorporación de fibras naturales para incrementar la resistencia al corte, incorporan mínima energía ya que tanto las fibras como otros suelos con mayor arena o arcilla,

también son extraídos de las inmediaciones. Generalmente se utiliza el suelo retirado para construir las fundaciones y/o la ejecución de pozos para las instalaciones sanitarias (pozos ciegos). (Vázquez Espí, M. 2001).

Las construcciones realizadas con técnicas mixtas, tienen costos energéticos muy bajos, ya que tanto la estructura primaria y secundaria como la osamenta, generalmente se efectúa con madera muy poco mecanizada, con cañas o ramas despreciadas por la industria maderera.

2.6 - ASPECTOS RELATIVOS A LA SALUD

La tierra como material constructivo tienen la capacidad de adsorber y desorber agua del aire circundante por lo tanto los muros como los revoques con un espesor superior a 1,5 cm, poseen la capacidad de regular la humedad ambiente dentro de las viviendas, manteniendo una humedad relativa cercana al 50% valor recomendado para el bienestar humano (Minke 2001).

Es un material no tóxico que emite muy bajas radiaciones de rayos alfa emitidos por el gas radón, además las radiaciones beta y gamma, son inferiores a la media de materiales como el hormigón y el ladrillo cerámico. (Yuste, B. 2014)

La humedad relativa inferior al 40% durante períodos prolongados puede secar las membranas mucosas, disminuyendo la resistencia a resfríos y enfermedades similares. Humedades relativas altas inclusive hasta el 70%, reducen el contenido de polvo en el aire y reduce la vida de algunas bacterias y virus, por encima del 80% de humedad relativa en lugares poco ventilados, favorece la formación de hongos cuyas esporas pueden producir alergias (Minke, G. 2001)

Mucho se ha hablado sobre la relación entre las viviendas de adobe y el mal de Chagas Mazza, responsabilizando a estas construcciones de alojar vinchucas "*Triatoma infestans*," insecto propagador de esta enfermedad, posteriores estudios demostraron que el principal responsable de cobijar la vinchuca, es la falta de higiene, la cercanía de gallineros, animales domésticos, o muros y techos sin revocar o con resquicios que permiten que el insecto se introduzca y nidifique. También suelen instalarse detrás de muebles, cuadros o en depósitos poco removidos. La buena construcción con tierra evita el problema ya que sus revoques no tienen grietas y oquedades (Rolón et-al 2016).

2.7 - ASPECTOS RELATIVOS A LA SUSTENTABILIDAD

- **Impacto Ambiental**

La tierra como material constructivo, ofrece una gran oportunidad para contribuir con el desarrollo sustentable, solo requiere el 1% de la energía necesaria para la producción, transporte y puesta en obra de lo utilizado por la mampostería de ladrillos cocidos o el hormigón armado (Minke, G. 2001)

Tiene procesos de producción sencillos, no necesita ningún tipo de cocción que genere combustiones con un alto consumo energético, la elaboración de sus componentes y la edificación requiere mínima energía inclusive puede ser aportada íntegramente solo por el esfuerzo del hombre.

El impacto ambiental es mínimo ya que utiliza los recursos del lugar, inclusive del mismo emplazamiento de la obra, prácticamente no hay impacto por el transporte y el impacto paisajístico es nulo.

No produce emisiones tóxicas durante el proceso de transformación, de su vida útil, ni durante su demolición, el consumo de agua es muy bajo principalmente con técnicas como el tapial o el BTC donde se compacta el suelo con porcentajes de humedad entre el 10% y el 14%. No existen desechos de material ya que se reutiliza los sobrantes o las demoliciones parciales, se mezcla se humedece y se reutiliza.

Otra contribución para la reducción del impacto ambiental son sus características térmicas, que en zonas templadas permite alcanzar la zona de confort con escasos recursos energéticos tanto para calefaccionar como para refrescar los ambientes interiores.

Acerca del confort térmico investigadores como Givoni, Olgyay e Izard, lo definen de la siguiente manera: Según Givoni (1977) el confort térmico “es una variedad de condiciones climáticas consideradas confortables y aceptables dentro de los edificios. Implica la ausencia de cualquier sensación de desconfort térmico de calor o de frío”. Olgyay, (1963) por su parte, define la zona de confort como “las condiciones en que el hombre consigue obtener el equilibrio biológico con el medio ambiente, gastando para ello el mínimo de energía y así la mayor parte de su energía estará libre para realizar otras tareas.” Conforme a Izard y Guyot (1980) “el confort térmico existe cuando, para una actividad sedentaria, con determinada vestimenta, el sistema termorregulador del cuerpo humano no tiene que intervenir para obtener el equilibrio térmico entre el cuerpo humano y el medio ambiente”. Una de las definiciones más aceptadas de confort térmico establece que es la “condición mental bajo la cual expresan satisfacción la mayoría de los ocupantes de un determinado ambiente térmico” (Héctor J. González Licón (2009)

- **Resumen de sus Características**

Reciclable: La tierra cruda puede ser reciclada indefinidamente durante un largo periodo, ya que se vuelve a mezclar incorporando agua para obtener barro plástico, o luego de desterronararlo incorporar la humedad suficiente para compactarlo. Es el único material que deconstruido vuelve a ser el mismo, inclusive en las construcciones estabilizadas con cal o cemento, las únicas partículas afectadas son las arcillas por lo tanto podría ser reutilizada constructivamente solo incorporando las arcillas necesarias.

Inercia térmica: Es una de las principales características del suelo debido a su gran densidad, que va de 1300Kg/m³ en los adobes livianos o en la paja embarrada para rellenar entramados a 2200 Kg/m³ de tapias o BTC comprimidos con máquinas hidráulicas. Esta propiedad le permite regular la temperatura ambiente retardando el paso del calor a través de su masa, calefaccionando el interior de los edificios por las noches y refrescándolos durante las horas de mayor temperatura exterior.

Aislante: Con la incorporación de gran cantidad de fibra, principalmente vegetal, el comportamiento térmico se transforma en aislante, la técnica que mejor función tiene como aislante es la tierra alivianada y mayor aislación se consigue con las construcciones de fardos de paja revocadas con barro.

Abundante: La fuente de abastecimiento del material es ilimitada, ya que es el material más abundante sobre la tierra

Absorbente sonoro: Por su porosidad y densidad es un material con un muy buen comportamiento adsorbente acústico.

Material ignífugo: La tierra como material se considera prácticamente incombustible, no propaga el fuego y no emite gases tóxicos. La resistencia al fuego de los muros de tierra se debe considerar de REI 90 para espesores iguales o mayores a 150 mm, con lo que es equivalente a la resistencia de otros materiales convencionales. (Bestraten, S. et. al 2011). La nomenclatura REI 90 (resistencia al fuego) conserva su resistencia mecánica, su integridad y su aislamiento durante 90 minutos.

2.8- CONCLUSIONES

La arquitectura de tierra posee un lugar destacado dentro del patrimonio mundial con miles de años de historia y hoy se presenta con un gran potencial para emerger dentro de la arquitectura contemporánea, con características ecológicas, térmicas, saludables, económicas y tecnológicas para competir con la arquitectura convencional dentro del marco de la sustentabilidad. Este material olvidado y

relegado a los sectores de mayor pobreza durante las tres cuartas partes del siglo XX, comienza a ser revalorado hacia finales de siglo en los países desarrollados europeos, América y Oceanía, influyendo en el resto del mundo para reinsertarlo nuevamente en la construcción contemporánea y alentar a los países en vías de desarrollo con gran identidad constructiva, a incentivar la investigación tecnológica necesaria para tal fin.

Cada vez es más necesaria la investigación científica tecnológica para optimizar las virtudes del material como su capacidad térmica, su bajo contenido energético y su versatilidad para regular la humedad relativa e incrementar la salud de sus ocupantes, incorporando industrialización, mecanización y nuevos materiales. Como también para mitigar sus limitaciones, como la exposición directa al agua o la endeblez ante los esfuerzos de corte, con soluciones creativas que alteren mínimamente su naturaleza, como también por el establecimiento de normativas y controles de calidad del material y el proceso constructivo. En función de lo dicho, el próximo capítulo aborda la problemática de la envolvente de los edificios y sus características térmicas.

Capítulo 3

Comportamiento térmico

3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta un estudio comparativo de las características térmicas de la envolvente de viviendas construidas con materiales convencionales comparadas con otras construidas con diversas técnicas de tierra, se tomaron las más emblemáticas adobe, tapia, quincha y BTC, para lo cual se estudiaron los resultados térmicos en muros y techos de las mencionadas viviendas.

3.2 - PROCEDIMIENTO

En base al proyecto de una vivienda del Plan Federal de Viviendas en la Provincia de Buenos Aires, representativo de vivienda de interés social por sus características constructivas, diseño y superficies, al que se le hicieron mínimas modificaciones para que al compararla con otras construidas con tierra su similitud fuera mayor. Se plantea verificar mediante simulaciones el desempeño térmico de propuestas alternativas de la misma vivienda construidas con diversas técnicas en tierra, como adobe, tapia, quincha y bloques de tierra comprimida (BTC), respetando el modelo de referencia, introduciendo solo las modificaciones necesarias para su factibilidad de construcción con tierra, ver Figuras 1 y 2.

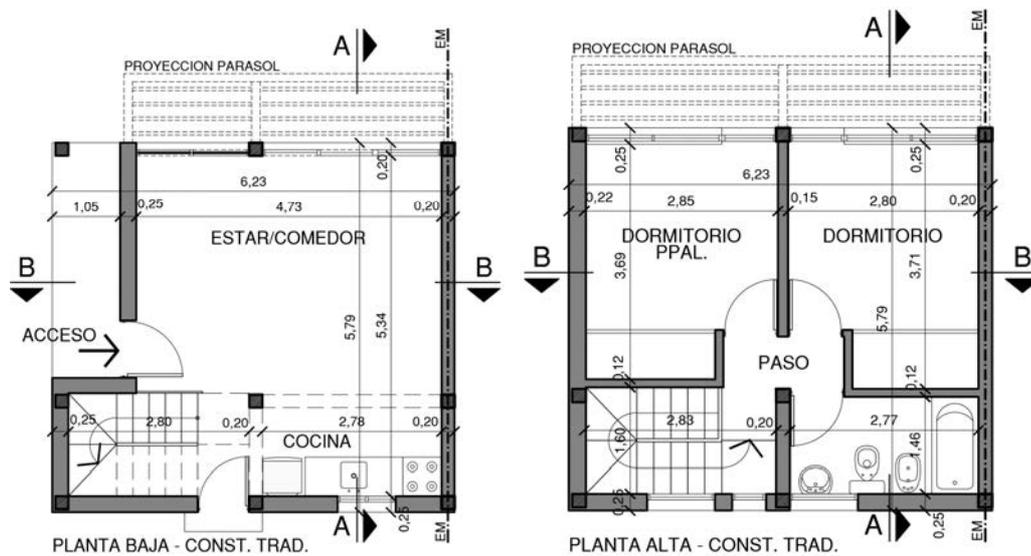


Figura 3.1. Plantas de la casa convencional

Se verifican sus desempeños térmicos y se comparan con las viviendas construidas con materiales convencionales, el comportamiento de estas viviendas que cumplen con el Nivel C de la Norma IRAM 11601: Acondicionamiento Térmico de Edificios y fundamentalmente, con una vivienda modificada para que cumpla con el Nivel B de dicha Norma, la cual es exigencia de la Ley 13059 de la Provincia de Buenos Aires. Las viviendas cumplen con las superficies necesarias para recibir financiación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, SEDUV, y además cumplen con las Normas Mínimas de Habitabilidad (SEDUV, 2001).

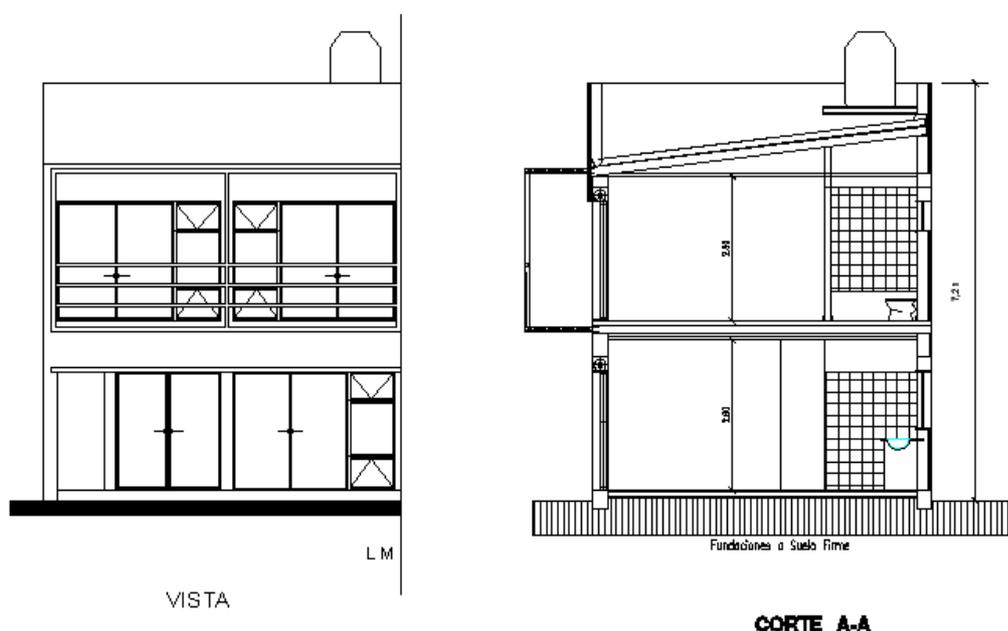


Figura 3.2. Vista y corte de la vivienda convencional

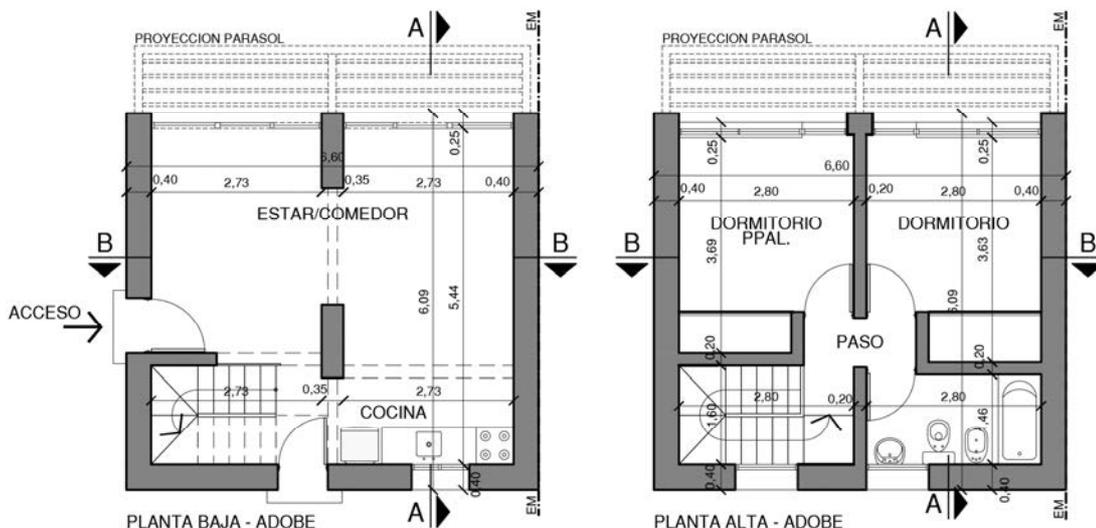
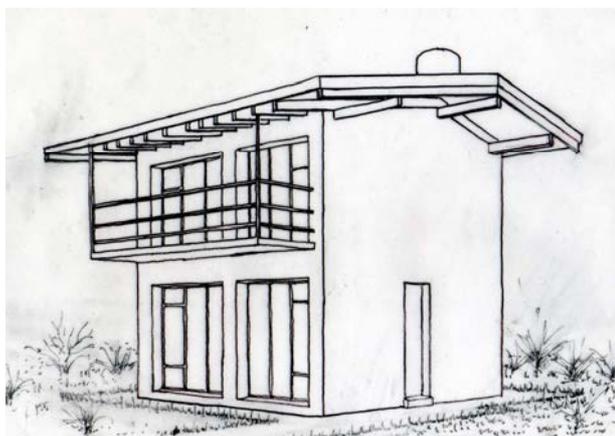
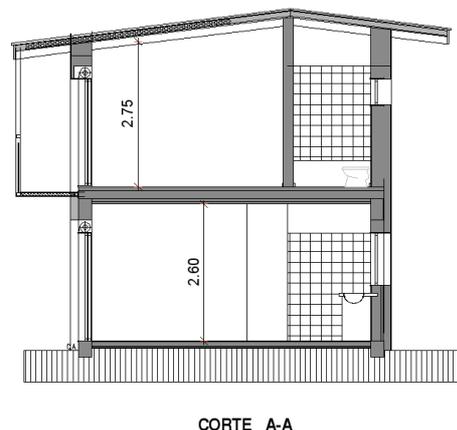


Figura 3.3: Plantas vivienda de adobe



Vista



Corte

Figura 3.4: Vista y corte de la vivienda de adobe

Las viviendas mejoradas alcanzan los niveles de aislación térmica propuesta en la Ley 13059 de la Provincia de Buenos Aires.

En base a la documentación de cada vivienda, planos, planillas de locales y carpinterías, se verifica el comportamiento térmico de las mismas mediante las planillas electrónicas (Evans 2002) que permiten calcular la transmitancia térmica “K” y el coeficiente volumétrico máximo admisible “G” con el procedimiento y datos de las Normas IRAM 11.604 y 11.605 (1970)

La planilla del cálculo “K” permite conocer la transmitancia de todos los elementos de la envolvente que componen la vivienda, muros, techos, pisos y elementos no

opacos. Se introducen los datos de la zona bioambiental, la localidad y la planilla selecciona la estación meteorológica más cercana para incorporar los datos climáticos necesarios. A continuación se introduce la época del año, invierno o verano, a fin de establecer la dirección del flujo de calor. Finalmente, se incorporan las sucesivas capas del elemento, desde el exterior al interior, identificando el material, con su densidad y su espesor para establecer su conductividad.

La planilla calcula las resistencias de cada capa según la conductividad y espesor, las resistencias de la superficie interior y exterior y la total de la construcción, a fin de determinar la transmitancia térmica del componente. También indica la transmitancia térmica máxima admisible del elemento correspondiente al nivel seleccionado. Con estos datos, junto con la absorción de la radiación solar de la superficie exterior, la planilla confirma si el componente cumple con la Norma 11.605.

3.3. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE MUROS

Se observa en la tabla 3.1 que la transmitancia térmica máxima admisible es sensiblemente mayor que la del componente analizado, esta situación es muy factible con un nivel de exigencia bajo, si se observan las tablas N° 2 y N° 3 se puede ver que es necesario adicionar aislación para poder cumplir con el Nivel B de la Norma en la que se aumenta la exigencia de aislación en un 54%.

Como indica la Tabla 3.2, es necesario incorporar un aislante térmico de tres centímetros de Poliuretano proyectado con una resistividad de 0,52 m².K/W, para alcanzar el Nivel B que exige la Ley 13050 de la Provincia de Buenos Aires, con el consiguiente aumento de costo monetario y de energía incorporada.

Tabla 3.3 indica la transmitancia térmica de muros de adobe en la vivienda construida con tierra. En este caso también hay que incorporar aislación térmica adicional pero la aislación se resuelve con materiales naturales, utilizando fardo de paja. Se consigue una aislación térmica similar a la vivienda de materiales convencionales, con una resistividad de 0,54 m².K/W, pero a un costo menor, no solo económico sino fundamentalmente respecto a la energía incorporada y la reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Vivienda convencional Nivel C			
ELEMENTO	Muro	Muro de ladrillo hueco 0,18		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	C Mínimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Revoque ext	0,025	1,16	0,02
Bloq ceram hueco y ladrillo	e=18 cm, 3 camaras	0,18	0	0,46
Revoque/mortero	Revoque int	0,025	0,93	0,03
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,23	R total	0,68
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				1,47
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,85
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	

Tabla 3.1 Transmitancia térmica del muro de construcción convencional

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa p -Tesis			
ELEMENTO	Muro			
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque o mortero	exterior	0,025	1,16	0,02
Poliuretano	entre placas d=	0,03	0,024	1,25
Bloque cerámico hueco	e=18 cm, 3 cam	0,18	0	0,46
Revoque o mortero	interior	0,015	0,93	0,02
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,25	R total	1,92
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,52
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,00
Absorción radiación solar	De 60 a 80%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20º C, la temperatura superficial interior es:				18,7 ºC

Tabla 3.2 Transmitancia térmica mejorada del muro convencional.

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO				
ELEMENTO	Muro	Muro de adobe		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liv	0,025	0,5	0,05
Madera / paja	Fardo de paja	0,05	0,045	1,11
Tierra	Adobe denso 1	0,3	0,64	0,47
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,02	0,78	0,03
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,41	R total	1,84
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,54
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,00
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				18,6 °C

Tabla 3.3 Transmitancia térmica del muro de adobe con aislante natural.

Si bien la resistividad del muro de adobe y del convencional es muy parecida, la vivienda de adobe requiere muros con un 61% mayor de espesor. Esta diferencia hace que la vivienda convencional requiera menor superficie, hecho que la posiciona mejor para zonas urbanas de alta densidad. Otra diferencia entre los distintos materiales es que en la construcción convencional tiene menor peso, pero requiere una estructura portante de H^o A^o que encarece y complica la construcción y aumenta las emisiones de GEI, debido al uso de hierro y cemento. Los muros de la vivienda de adobe son autoportantes. Para cumplir con la norma necesita una liviana estructura de tablillas amarradas al adobe para sostener la aislación de fardos de paja, lo que incrementa la mano de obra. Otra situación destacable es que la vivienda de tierra debe ser construida íntegramente en el lote sin poder acaballarse sobre el eje medianero como la vivienda de construcción convencional ya que no se puede obligar al lindero a tener en su vivienda un muro de adobe, hecho que incrementa la superficie ocupada sobre el terreno.

Se observa en la Tabla 3.4 que en la vivienda de adobe que cumple con el Nivel C, mínimo requerido por las Normas IRAM, el incremento del espesor del muro es de un 64%, planteándose una situación similar para cumplir con el Nivel B.

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Adobe Nivel C			
ELEMENTO	Muro	Muro de adobe		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	C Mínimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liv	0,02	0,5	0,04
Tierra	Adobe median	0,3	0,52	0,58
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,025	0,78	0,03
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,36	R total	0,84
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				1,19
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,85
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				17,0 °C

Tabla 3.4 Transmitancia térmica del muro de adobe

En el caso de las viviendas de adobe se puede cumplir con el Nivel B sin incorporar aislación, pero el incremento del espesor del muro la descalifica para zonas urbanas, ya que el espesor mínimo para estar acorde a la norma sería de cuarenta y cinco cm (Ver Anexo planos y tabla N° 22)

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO				
ELEMENTO	Muro	Muro de BTC		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Revoque ext	0,015	1,16	0,01
Tierra	Paja y barro liviano	0,02	0,48	0,04
Madera / paja	Fardo de paja	0,05	0,045	1,11
Tierra	Suelo cem/BTC 1800	0,29	0,82	0,35
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,015	0,78	0,02
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,39	R total	1,71
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,59
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,00
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				18,5 °C

Tabla 3.5 Transmitancia térmica de un muro de BTC, Bloque de tierra comprimida, con capa aislante natural.

En la tabla 3.5 se observa que en construcciones de tierra con otras técnicas constructivas como la de tapial o BTC, ocurren situaciones similares pero en este caso, con la ventaja de obtener muros de menor espesor, solución más acorde con construcciones urbanas sin resignar eficiencia térmica, ni en la energía incorporada ni en la emisión de gases de efecto invernadero. Las diferencias en estos rubros son despreciables incluso la amortización de una prensa manual de fabricación de bloques tipo CINVA- RAM (Ramirez 1956) el espesor del muro de BTC es el 95% del espesor del muro de adobe y su transmitancia térmica es solo 91% del muro de adobe.

Con las técnicas mixtas, de entramados de elementos naturales y barro, se pueden construir estructuras livianas con muros de poco espesor y con muy buen desempeño térmico, aunque el problema de acaballarse sobre el eje medianero es similar a todas las técnicas de construcción con tierra.

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Tierra			
ELEMENTO	Muro	Muro de quincha		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,025	0,82	0,03
Tierra	Paja y barro livia	0,06	0,5	0,12
Madera / paja	Fardo de paja	0,05	0,045	1,11
Tierra	Paja y barro livia	0,06	0,5	0,12
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,025	0,78	0,03
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,22	R total	1,58
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				0,63
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,00
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				18,4 °C

Tabla 3.6 Transmitancia térmica de un muro de Quincha, con aislante natural

Tabla 3.6 presenta las características térmicas de un muro construido con estas técnicas. En este caso, la quincha, con poco material logra excelentes resultados térmicos, si bien requiere una estructura portante muy económica y de gran sencillez, que invariablemente se realiza con madera o caña. Su espesor de 22 cm. es solo el 54% del espesor del muro de adobe y tiene una transmitancia un 17% mayor que el muro de adobe, es una técnica constructiva muy satisfactoria para zonas templadas ya que por su liviandad y versatilidad, permite realizar construcciones elevadas del suelo y con grandes aberturas para facilitar la ventilación natural. Para poder cumplir con el Nivel C de la norma IRAM se requiere hacer una quincha doble, ya que la simple no cumple. (Ver tabla 3.22)

Latabla 3.7 corresponde a un muro de tapia al cual se ha incluido una capa de aislación de fardos de paja de 5 cm de espesor que permite obtener el nivel B

NORMA IRAM 11.601	CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA			Tabla Nº 14
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Tierra			
ELEMENTO	Muro	Muro de tapia vist.		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liviano	0,025	0,5	0,05
Madera / paja	Fardo de paja	0,05	0,045	1,11
Tierra	Suelo cem/BTC 1800	0,28	0,82	0,34
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,37	R total	1,69
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,59
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,00
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				18,5 °C

Tabla 3.7 Transmitancia térmica de un muro de tapia con aislante natural.

NORMA IRAM 11.601	CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA			Tabla Nº 15
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Tierra			
ELEMENTO	Muro	Muro de tapia		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	A Optimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liviano	0,025	0,5	0,05
Madera / paja	Fardo de paja	0,1	0,045	2,22
Tierra	Suelo cem/BTC 2000	0,28	1,02	0,27
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,42	R total	2,74
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,37
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				0,38
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				19,1 °C

Tabla 3.8 Transmitancia térmica de un muro de tapia nivel A de la Norma IRAM.

de las Normas IRAM 11605, esta técnica permite dejar el muro sin revoque interior con buena terminación (del Río Muñoz, M. 2015), permitiendo un menor espesor de muro, este es solo el 90% del espesor del muro de adobe y tiene el 98% de la transmitancia del muro de adobe, su desempeño es muy similar a los muros de BTC.

Alcanzar el nivel A de las normas se resuelve en todas las variantes constructivas, tanto de tierra como en la construcción convencional incorporando mayor aislación, la diferencia entre ambas es que en la primera se incrementa el costo monetario, en la energía incorporada y en la emisión de GEI, mientras que en las de tierra solo se incrementa el espesor de los muros. En las construcciones de quincha el incremento de espesor es mínimo ya que es solo de un 5% mayor que en el nivel B.

Las otras variantes tanto de construcción convencional como de tierra se pueden ver en las tablas presentadas en el Anexo 1.

3.4. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE TECHOS

De la misma manera se puede verificar el otro elemento fundamental de la envolvente edilicia, los techos de la casa convencional y los de tierra necesitan incorporar aislación térmica para poder alcanzar el nivel C de la Norma IRAM 11605, por lo tanto solo se requiere aumentar la aislación térmica para lograr niveles superiores de confort.

En la tabla 3.9 se observa una solución constructiva resuelta también con materiales naturales salvo su cubierta de chapa de acero y con un gran nivel de aislación que le permite satisfacer el Nivel A de la Norma IRAM. 11605

Con un techo muy liviano y de poco espesor se consigue el nivel óptimo de aislación sin necesidad de recurrir a aislantes industrializados, se presenta esta planilla como referencia ya que las otras variantes son muy similares inclusive el techo de construcción convencional para alcanzar el nivel A de la Norma IRAM 11605 requiere una aislación de lana de vidrio de un centímetro de mayor espesor que el techo de construcción natural, pero tiene una transmitancia térmica un 7% menor que el techo de construcción natural.

El Anexo 1. presenta el resto de las tablas de transmitancia térmica de techos.

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Tierra			
ELEMENTO	Techo	Chapa c-pendiente - fardo de paja		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Ascendente	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	A Optimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Metal	Acero	0,001	58	0,00
Tierra	Paja y barro livi	0,02	0,5	0,04
Madera / paja	Fardo de paja	0,13	0,045	2,89
Plasticos	Polietileno alta	0,0002	0,5	0,00
Madera / paja	Pino normal	0,018	0,16	0,11
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,10
Espesor total, metros		0,17	R total	3,18
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,31
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				0,32
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				19,4 °C

Tabla 3.9 Transmitancia térmica de un techo con aislación natural.

3.5 – ESTUDIOS DE CASO

Estudios anteriores demuestran el favorable desempeño térmico de la construcción con tierra en zonas templadas o con gran amplitud térmica (Patrone, 2006), Las mediciones y simulaciones indican que estas construcciones de tierra que no cumplen con el Nivel C de la Norma IRAM 11.601, tienen mejor desempeño térmico que otras construcciones convencionales realizadas con distintas técnicas constructivas.

Otro estudio realizado conjuntamente con el equipo de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México, en el cual se efectuaron mediciones térmicas en verano e invierno, comparando viviendas construidas con BTC y tapia de suelo-cemento en climas distintos, con otras construidas con bloques de hormigón, bloque cerámico, ladrillo macizo y construcción liviana, mediante simulaciones calibradas, tienen mejor desempeño térmico que las construcciones de materiales convencionales, inclusive es mejor el

comportamiento térmico de aislación natural en techos que el de aislantes industrializados. (Patrone et-al 2009)

En otro estudio se comparan viviendas construidas con BTC y tapial con otra de bloques de H^o y mediante simulaciones calibradas con viviendas de construcción liviana, bloques cerámicos y ladrillos comunes (Patrone, Evans 2011). También se alcanzan resultados similares comparados con una construcción liviana muy económica construida en la ribera de Quilmes Prov. de Buenos Aires y una vivienda industrializada, en los dos papers mencionados tanto cuando se efectúan las simulaciones como en las mediciones, la única construcción que tiene mejor comportamiento sobre las viviendas de tierra, es la vivienda industrializada construida con muros y techos de poliestireno expandido revocada con concreto armado en ambas caras, mientras que las otras construcciones tienen un rendimiento térmico inferior o a lo sumo muy similar a las de tierra, como en el caso de la construcción de ladrillo cerámico hueco (Patrone, Evans 2012).

También se pudo apreciar similares resultados en la investigación efectuada en las Prov. de Santa Fe y Entre Ríos conjuntamente entre los equipos de la Facultad Regional de Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional y el Centro de Investigación Hábitat y Energía de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Bs. As (Patrone et-al 2013). Este trabajo compara construcciones convencionales con otras de adobe y BTC, la misma se centro fundamentalmente sobre mediciones registradas durante el verano de 2012 en tres viviendas, obteniendo buenos comportamientos térmicos ya que en las mismas se producen atrasos temporales en los picos de máxima temperatura, atenuación del salto térmico y en un 45% a 50% del día el interior de las viviendas se encuentra dentro de la zona de confort.

3.6. CONCLUSIONES

Este capítulo demuestra la posibilidad de lograr buenas características térmicas utilizando construcción con tierra con el complemento de aislantes naturales. Los resultados de los cálculos indican el potencial de estos sistemas constructivos a cumplir con niveles de aislación mejorados que exige la Ley 13.059 de la Provincia de Buenos Aires, Nivel B de la Norma IRAM 11.605.

Los estudios incluyen muros y techos. En el primer caso los muros de tierra tienen dos desventajas potenciales; el mayor espesor y la necesidad de duplicar muros a cada lado de un eje medianero. Sin embargo, la construcción de tierra disminuye costos, y minimiza las emisiones de gas efecto invernadero, logrando mejor

comportamiento térmico que la construcción convencional. La tabla 3.10 presenta una síntesis de las características de los muros y techos alternativos

Construcción Muros	K- Transmitancia Térmica W/m² K	Peso Kg.	Espesor mm
Tabla 3.1 Cerámico hueco revocado	1,47 – Nivel C	mediano	230
Tabla 3.2 Convencional mejorada	0,52 – Nivel B	mediano	250
Tabla 3.3 Adobe con aislación natural	0,54 – Nivel B	pesado	410
Tabla 3.4 Adobe sin aislación	1,40 – Nivel c	pesado	360
Tabla 3.5 BTC con aislación natural	0,60 – Nivel B	pesado	390
Tabla 3.6 Quincha con aislación natural	0,63 – Nivel B	liviano	220
Tabla 3.7 Tapia con aislación natural	0,53 – Nivel B	pesado	370
Tabla 3.8 Tapia con aislación natural	0,37 – Nivel A	pesado	420
Tabla 3.9 Techo con aislación natural	0,31 – Nivel A	liviano	170

Tabla 10. Tabla síntesis, resultados de la evaluación de características térmicas

Notas: Nivel A, B y C refiere al cumplimiento de la Norma IRAM 11.605 (1970)

Peso: Pesado superior a 200 kg/m², mediano entre 100 y 200 kg/m², liviano menos a 100 kg. Los pesos dependen del espesor de las capas y la densidad del material.

El resultado fundamental de obtener mayor confort dentro de viviendas construidas con tierra redonda en ahorro energético tanto en calefacción en invierno como en refrigeración en los meses de verano. En el capítulo siguiente se presenta un estudio comparativo sobre la demanda de energía de las viviendas en estudio, correspondiente a las pérdidas de calefacción en invierno. Verificando el coeficiente volumétrico de pérdida de calor de la vivienda “G”, para determinar la energía necesaria para calefaccionar el edificio durante un año.

Capítulo 4

Evaluación energética en la Construcción con tierra:

4.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta un estudio comparativo sobre la demanda de energía de las viviendas en estudio, tanto la de construcción convencional como las otras viviendas realizadas con distintas técnicas constructivas de tierra, adobe, tapia, quincha y BTC, presentadas en el Capítulo 3. Estas pérdidas corresponden a la demanda de calefacción en invierno, y depende de las características térmicas de la envolvente, la ventilación, la temperatura de diseño interior y las temperaturas exteriores durante la época invernal.

Sobre los resultados térmicos de muros y techos obtenidos del estudio realizado en dicho capítulo, se determinan las pérdidas calóricas totales de las mencionadas viviendas, utilizando la metodología de la Norma IRAM 11604 (1987). Después se verifica el valor de 'G', las pérdidas volumétricas en W/m³K. El 'G' es el coeficiente volumétrico de pérdida de calor de la vivienda, expresado como la suma de la transmitida a través de los elementos constructivos de la envolvente y las pérdidas por ventilación, considerando una diferencia de 1 grado Celsius entre interior, dividido por el volumen calefaccionado de la vivienda.

Finalmente se compara el valor de G calculado con las máximas admisibles fijadas por la misma Norma IRAM.

Con los valores de las pérdidas calóricas totales se determina la carga térmica anual de calefacción, lo que posibilita estimar la energía necesaria para calefaccionar el edificio durante un año.

4.2 COMPORTAMIENTO TÉRMICO

“Los valores máximos admisibles establecidos para el coeficiente volumétrico **G** (G_{adm}), limitarán las pérdidas de calor por unidad de de volumen de la vivienda calefaccionada para mantener un determinado nivel de ahorro energético”.(Norma IRAM 11604: (1987)

Que todos los elementos de cerramiento de un edificio cumplan satisfactoriamente con valores iguales o inferiores a las máximas admisibles de transmitancia térmica de la Norma IRAM 11601, no implica que sea suficiente para controlar las pérdidas de calor totales del conjunto. Por lo cual la optimización del diseño edilicio, la elección apropiada de los materiales y la determinación de los vanos y orientaciones adecuadas, controlan las pérdidas de calor globales, permitiendo cumplir con el coeficiente volumétrico máximo admisible (G_{adm}) de la Norma IRAM 11604:1887 para verificar las condiciones de confort y eficiencia energética.

4.3 PROCEDIMIENTO

Sobre las viviendas analizadas en los Capítulos 3 y 4, se calcula el volumen de las viviendas mencionadas y en función de los valores de transmitancia térmica de muros, techos y otros cerramientos de las envolventes calculadas en el Capítulo 3, con sus respectivas superficies, se obtienen las pérdidas globales de calor de todas las variantes analizadas en los capítulos anteriores. Obtenidos estos valores, se verifica el cumplimiento de la Norma IRAM 11604 del Coeficiente volumétrico de pérdidas de calor.

El cálculo térmico se realiza con una temperatura interior de diseño de 18 °C, en viviendas se considera que la misma, encontrándose ocupada por sus moradores que aportan calor metabólico, y sumando las cargas térmicas emitidas por los artefactos eléctricos domésticos mas la cocción de alimentos, la temperatura interior de las viviendas aumenta mínimamente dos grados centígrados, con lo cual se obtiene un confort muy aceptable. También se considera que la temperatura de diseño de 18 °C es la temperatura promedio de la vivienda lo que permite suponer que durante la noche la temperatura interior descienda a 16 °C, en coincidencia con el reposo de sus habitantes, y un aumento a 20° durante el día. Otro elemento favorable a considerar es el potencial calentamiento del edificio durante el día por efecto de las ganancias solares.

Con los valores de las pérdidas globales de las distintas variantes de las viviendas se puede calcular la carga térmica volumétrica G en W/m³K, lo que posibilita estimar la energía necesaria para calefaccionar el edificio durante un año, según su volumen y los grados días de calefacción.

Se analizan las viviendas de construcción convencional en los Niveles C, B y A de la Norma IRAM 11604, al igual que las de adobe, tapia, quincha y BTC.

Se presentan los resultados del análisis de las tablas de pérdida volumétrica global, de las viviendas de construcción convencional de los Niveles C y A de la Norma IRAM 11604,

Cabe aclarar que el cumplimiento de la Norma IRAM 11.604 no es obligatorio en vivienda social con financiación nacional, ni en la gran mayoría de los casos en el sector privado. Solo es obligatorio en la Provincia de Buenos Aires, por Ley 13.059, y en edificios de importante superficie en la Municipalidad de Rosario. Las normas de aplicación en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires todavía no están reglamentadas. Además, la verificación del cumplimiento de la Ley 13.059 es muy deficiente.

Sin embargo, la Norma IRAM 11.604 es un ejemplo de buena práctica en todas las zonas de aplicación, la Zonas Bioambientales III, IV, V y VI, templada, templada fría, fría y muy fría respectivamente. No es de aplicación en las Zonas I y II, muy cálida y cálida, por los inviernos más templados con menores pérdidas.

Se presentan las tablas y figuras de distribución de pérdidas volumétricas de las viviendas de construcción convencional en sus Niveles C, B y A, seguidamente se presenta el cálculo de "G" de la vivienda convencional en el Nivel B.

Vivienda de construcción convencional Nivel C

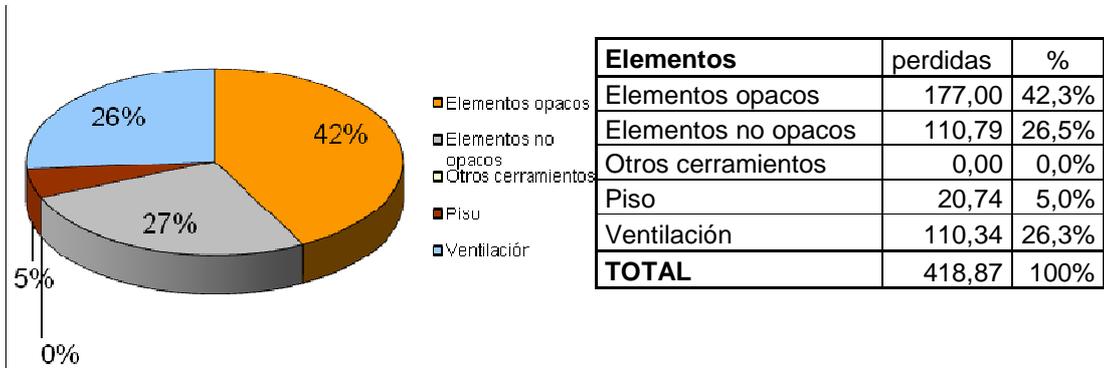


Figura 4-1 Distribución de pérdidas de calor (Ver Anexo 2, tabla N° 4.1)

(Otros elementos corresponden a medianeras y elementos constructivos en contacto con espacios no calefaccionados; no están presentes en las viviendas en estudio)

Vivienda convencional Nivel B

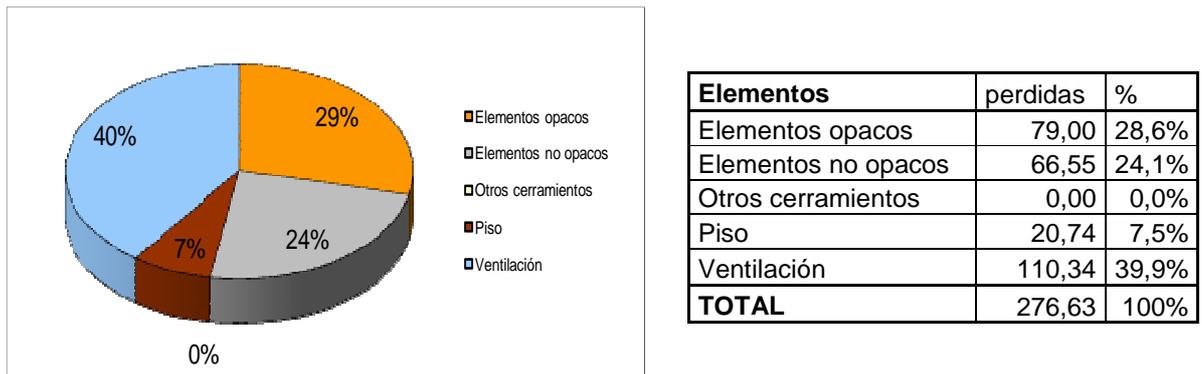


Figura 4.2 Distribución de pérdidas de calor (ver tabla a continuación)

Vivienda de construcción convencional Nivel A

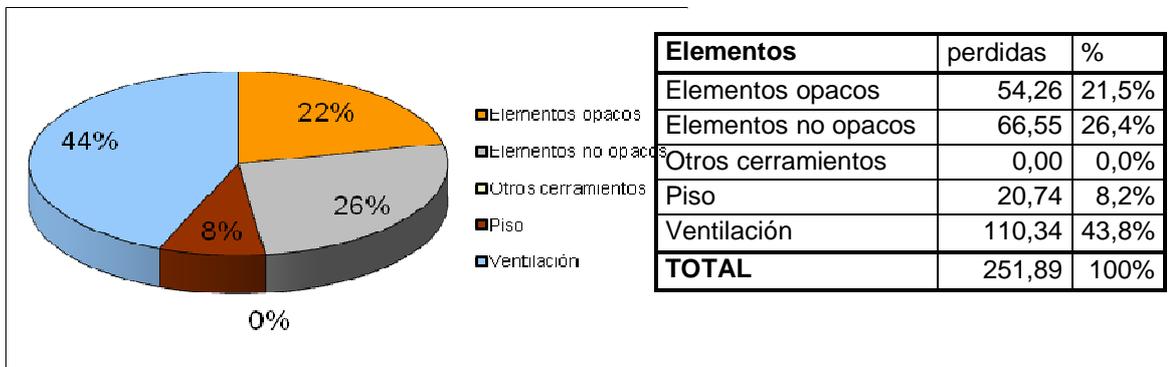


Figura 4-3. Distribución de pérdidas (Ver Anexo 2, tabla N° 4.3)

Tabla Nº 4.1. Calculo de "G"- Vivienda convencional nivel B			Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires convencional				
Envolvente	Nivel B		Grados Días	1139	
	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen	
Superficie y volumen calefacionada	29,19	2,7	2	157,63	
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)					
Elemento		Superficie S m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1	Techo	31,32	0,66	20,6712	
2	Muro	93,93	0,52	48,8436	
3	Piso en contacto con aire exterior	3,22	1	3,22	
4	Puertas	3,48	1,8	6,264	
5				0	
6				0	
7				0	
8				0	
	m2 Total	131,95	TOTAL	78,9988	
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)					
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K	
1	Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
2	Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
3	Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
4	Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
5	-			0	0
6	-			0	0
7	-			0	0
8	-			0	0
	m2 Total	24,31	TOTAL	66,5549	
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)					
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K	
1				0	
2				0	
3				0	
4				0	
5				0	
6				0	
7				0	
8				0	
	m2 Total		TOTAL	0	
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO					
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P	
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,739	
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN				TOTAL	166,2927
PERDIDAS VOLUMETRICAS				TOTAL / Vol	1,05
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE				n	Perdida n
				2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)					1,75
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)					1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604					Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hora	10/09/2016 11:41		

% de vidrio	15,6%			por % de vidrio
Ajuste por superficie de vidrio	No			
G admisible	1,96			
Ajuste	0,00			
G max ajustado	1,96			
Transmitancia térmica vidrio	Cortina Cerrada	Promedio 24 horas		K de vidrios con y sin cortinas (promedio 24 hrs)
-		0		
Vidrio simple	5,82	5,82		
Vidrio doble	3,23	3,23		
Vidrio low e	2,80	2,80		
Vidrio simple + cortina de enrollar	3,05	4,44		
Vidrio doble + cortina de enrollar	2,15	2,69		
Vidrio low e + cortina de enrollar	1,95	2,38		
Perdida lineal de pisos				
Tipo de aislación piso	Zona bioambiental			
	I y II	III y IV	V y VI	
Todo	0,85	0,93	1	
Perimetral	1	1,08	1,17	
Ninguno	1,28	1,38	1,48	
Zona Bioambiental				
Muy cálido	I	2		
Cálido	II	2		
Templado	III	3		
Templado frío	IV	3		
Frío	V	4		
Muy frío	VI	4		

Tabla 4.1. Cálculo de la vivienda correspondiente al Nivel B de la Norma IRAM 11604.

4.4 PERDIDAS DE ENERGÍA

Los resultados de las viviendas de construcción convencional son:

Tabla 4.2. Pérdida volumétrica, construcción convencional (C) Ver Anexo 2, Tabla N° A-4.1

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel C	2,66
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			No Cumple

Tabla 4.3. Pérdida volumétrica, construcción convencional (B). Ver Anexo 2 tabla N° A.4.2

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel B	1,75
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			Cumple

Tabla 4.4. Pérdida volumétrica, construcción convencional (A). Ver Anexo 2 tabla N° A-4.3

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel A	1,60
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			Cumple

Se observa que la vivienda que cumple con el Nivel C de la Norma IRAM 11601 no cumple con la Norma IRAM 11604.

Se calcula la carga térmica anual según la Norma IRAM 11604

Siendo

Q = la carga térmica de calefacción en Kilowatt hora
24 = el tiempo de calefacción por día en horas
°D = grados días norma IRAM 11603 en grados Celsius
Gcal = coeficiente volumétrico de pérdida de calor en Wat por metro cúbico Kelvin
V = volumen interior del edificio en m3

$$Q = \frac{24 \cdot \text{°D} \cdot G_{\text{cal}} \cdot V}{1000}$$

La vivienda de Nivel C de la Norma IRAM 11601, no cumple con la Norma IRAM 11604 y requiere una carga térmica anual de 11462 KWhr, la de Nivel B requiere 7541 KWhr y la de Nivel A requiere 6894 KWhr. Por lo tanto la vivienda de Nivel B requiere solo el 66 % de carga térmica y la de Nivel A necesita solo el 60%, de la carga térmica de la vivienda de Nivel C. Cabe aclarar que el Nivel C corresponde a vivienda social con financiación del Estado Nacional, mientras no hay exigencia para vivienda del sector privado. Este resultado muestra que para poder cumplir con la norma se requiere incrementar la aislación térmica y que cuanto mayor es esta, menor carga térmica necesitará la vivienda.

Se procede a analizar los resultados del análisis de las tablas de pérdida volumétrica global, de las viviendas de adobe de los Niveles C, B y A de la Norma IRAM 11604.

Tabla 4.5. Pérdida volumétrica, construcción de adoba (C). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.4

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel C	2,36
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			No Cumple

Tabla 4.6. Pérdida volumétrica, construcción adobe (B). Ver Anexo 2, Tabla N° A. 4.5

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel B	1,68
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			Cumple

Tabla 4.7. Pérdida volumétrica construcción adobe (A). Ver Anexo 2 tabla N° 4.6

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel A	1,52
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			Cumple

Con los valores de pérdida volumétrica global obtenidos, se calcula la carga térmica anual de las viviendas de adobe según la Norma IRAM 11604.

La vivienda de Nivel C de la Norma IRAM 11605, no cumple con la Norma IRAM 11604 y requiere una carga térmica de 10810 KW h, la de Nivel B requiere 7696 KW h y la de Nivel A requiere 6962 KW h. Por lo tanto la vivienda de Nivel B requiere solo el 71 % de carga térmica y la de Nivel A necesita solo el 64 %, de la carga térmica de la vivienda de Nivel C.

Con valores un poco más bajos de pérdida volumétrica global que la vivienda de construcción convencional, se repite el mismo esquema anterior. Para poder cumplir con la Norma 11.604, es necesario incrementar la aislación.

Se procede a analizar los resultados del análisis de las tablas de pérdida volumétrica global, de las viviendas de tapia de los Niveles C, B y A de la Norma IRAM 11604.

Tabla 4.8. Pérdida volumétrica construcción tapial (C). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.7

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel C	2,70
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			No Cumple

Tabla 4.9. Pérdida volumétrica construcción tapial (B). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.8

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel B	1,71
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			Cumple

Tabla 4.10. Pérdida volumétrica construcción tapial (A). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.9

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel A	1,52
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			Cumple

Con los valores de pérdida volumétrica global obtenidos, se calcula la carga térmica anual según la Norma IRAM 11604

La vivienda de Nivel C de la Norma IRAM 11605, no cumple con la Norma IRAM 11604 y requiere una carga térmica de 12367,13 KW h, la de Nivel B requiere 7878,32 KW h y la de Nivel A requiere 6962,24 KW h. Por lo tanto la vivienda de Nivel B requiere solo el 63,7 % de carga térmica y la de Nivel A necesita solo el 56 %, de la carga térmica de la vivienda de Nivel C.

Se procede a analizar los resultados del análisis de las tablas de pérdida volumétrica global, de las viviendas de quincha de los Niveles C, B y A de la Norma IRAM 11604.

Tabla 4.11. Pérdida volumétrica construcción quincha (C). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.10

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel C	2,44
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			No Cumple

Tabla 4.12. Pérdida volumétrica construcción quincha (B). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.11

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel B	1,73
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			Cumple

Tabla 4.13. Pérdida volumétrica construcción quincha (A). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.15

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)		Nivel A	1,50
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)			1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604			Cumple

Con los valores de pérdida volumétrica global obtenidos, se calcula la carga térmica anual según el método de la Sección 6.7. de la Norma IRAM 11604.

La vivienda de Nivel C de la Norma IRAM 11601, no cumple con la Norma IRAM 11604 y requiere una carga térmica de 11267,83 KW h, la de Nivel B requiere 7924,13 KW h y la de Nivel A requiere 6870,63 KW h. Por lo tanto la vivienda de Nivel B requiere solo el 70, % de carga térmica y la de Nivel A necesita solo el 61 %, de la carga térmica de la vivienda de Nivel C.

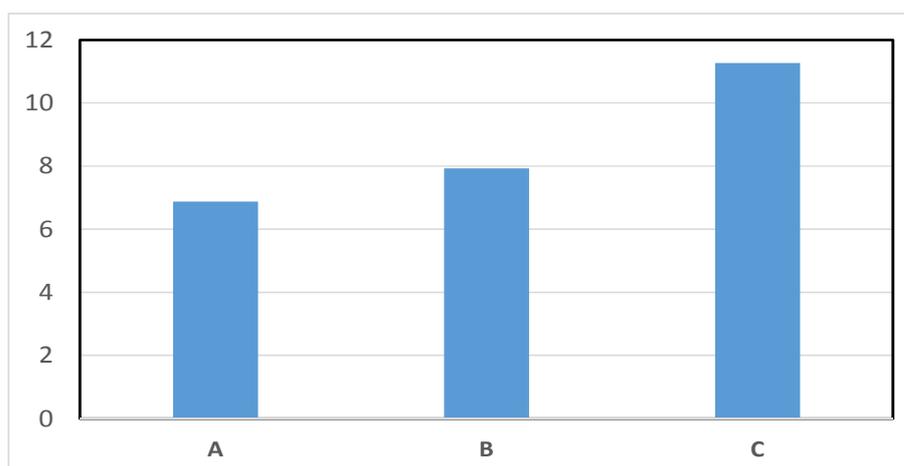


Figura 4.4. Comparación de las pérdidas anuales según nivel de aislación térmica de muros y techo, miles de KW h

En la Figura 4.4, una parte de las pérdidas corresponde a la ventilación, un valor igual en todas las variantes...

Se procede a analizar los resultados del análisis de las tablas de pérdida volumétrica global, de las viviendas de BTC de los Niveles C, B y A de la Norma IRAM 11604.

Tabla 4.13. Pérdida volumétrica construcción BTC (C). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.12

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)	Nivel C	2,62
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)		1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604		No Cumple

Tabla 4.14. Pérdida volumétrica construcción BTC (B). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.13

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)	Nivel B	1,71
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)		1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604		Cumple

Tabla 4.15. Pérdida volumétrica construcción BTC (A). Ver Anexo 2, Tabla N° A.4.14

PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)	Nivel A	1,52
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)		1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604		Cumple

Con los valores de pérdida volumétrica global obtenidos, se calcula la carga térmica anual según la Norma IRAM 11604

La vivienda de nivel C de la norma IRAM 11605, no cumple con la norma IRAM 11604 y requiere una carga térmica de 12000 KW h, la de Nivel B requiere 7833, KW h y la de Nivel A requiere 6962 KW h. Por lo tanto la vivienda de Nivel B requiere solo el 70 % de carga térmica y la de Nivel A necesita solo el 58 %, de la carga térmica de la vivienda de Nivel C.

- **Resumen**

Analizado el requerimiento de carga térmica de todas las viviendas en los tres niveles que contempla la Norma IRAM 11604, se observa que dando respuesta solo al Nivel C de la Norma IRAM 11601, ninguna de las construcciones propuestas cumple con la Norma IRAM 11604. Si bien todas las variantes construidas con tierra tienen menor pérdida volumétrica global, que la construcción convencional, salvo la vivienda de tapia solo en el Nivel C; el incremento del espesor de los muros de las viviendas de tierra, complica su implantación en zonas de gran densidad poblacional.

Ninguna de las construcciones analizadas puede cumplir con la Norma IRAM 11604, sin incorporar aislación térmica, también se observa que para cumplir con la norma se requiere niveles de aislación suficiente en muros y techos.

Para alcanzar el Nivel B de la Norma IRAM 11604 se debe aumentar la aislación térmica, no solo en muros y techos sino también en los pisos, o sea que la construcción debe estar convenientemente aislada.

Tabla Nº 4.16 Cumplimiento con la Norma IRAM 11604

Resumen	Nivel C	Cumple	Nivel B	Cumple	Nivel A	Cumple
Vivienda convencional	2,66	No	1,75	Si	1,60	Si
Vivienda de adobe	2,36	No	1,68	Si	1,52	Si
Vivienda de tapia	2,70	No	1,72	Si	1,52	Si
Vivienda de quincha	2,44	No	1,73	Si	1,50	Si
Vivienda de BTC	2,62	No	1,71	Si	1,52	Si

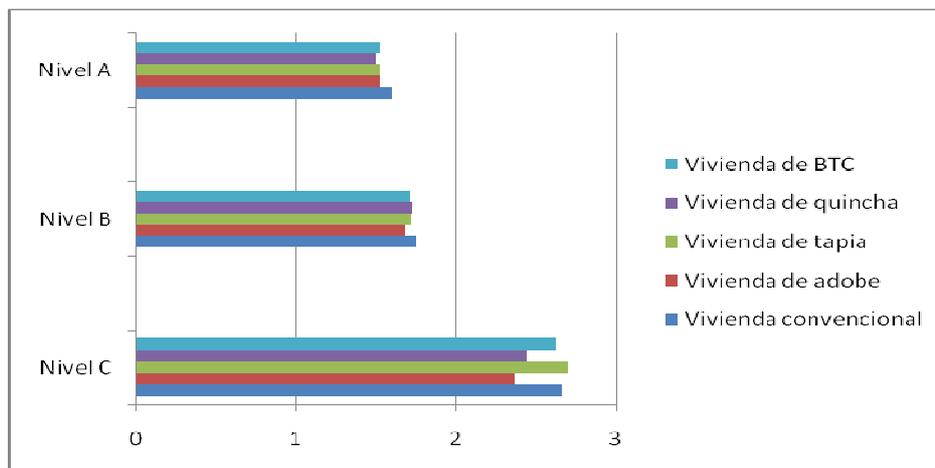


Figura 4.5 Cumplimiento con la Norma IRAM 11604, basado en Tabla 4.16

Observando los valores de la pérdida volumétrica global, de las distintas variantes de vivienda analizadas, se logra cumplir con los Niveles A y B de la norma, incrementando la aislación de sus cerramientos independientemente de los materiales con que este construida.

Calculadas las cargas térmicas anuales de las diferentes viviendas analizadas se observa en la Tabla 4,16 que en el Nivel C de la Norma IRAM 11604, la vivienda de adobe es la que menor carga térmica requiere, un 6 % menos que la convencional y que la vivienda de tapia la que requiere mayor carga térmica, necesitando un 7 %

más que la vivienda convencional. La vivienda de quincha también necesita menor carga térmica respecto a la vivienda de construcción convencional, un 2 % menos.

En el Nivel B de la Norma IRAM 11604 el mejor comportamiento térmico lo tiene la vivienda de construcción convencional que requiere un 2 % menos de carga térmica que la vivienda construida con adobe y un 5 % menos que la vivienda de quincha, que en este nivel es la de peor comportamiento.

La vivienda construida con quincha, en el Nivel A de la Norma IRAM 11604, resulta la de mejor comportamiento, necesita 0,4 % menos de carga térmica que la vivienda convencional y 1 % menos de carga térmica que las otras viviendas construidas con las otras técnicas constructivas de tierra.

Tabla Nº 4.17 Cargas térmicas anuales en Kwh

Vivienda	Nivel C	Nivel B	Nivel A
	Kwh	Kwh	Kwh
Convencional	11462	7541	6894
Adobe	10810	7695	6962
Tapia	12367	7878	6962,
Quincha	11268	7924	6871
BTC	12001	7831	6962

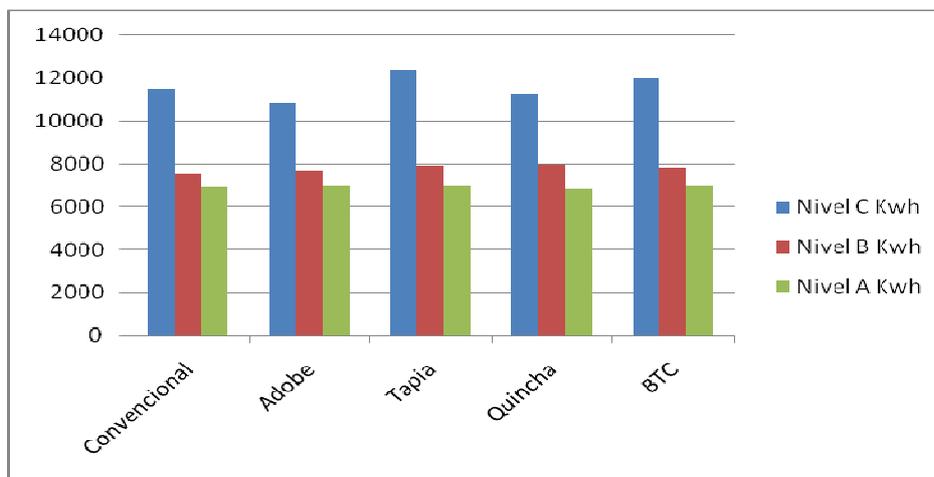


Figura 4.6 Cargas térmicas anuales en Kwh, ver Tabla 4.17

Las diferencias de carga térmica entre las diferentes construcciones, tanto las construidas con tierra como la de construcción convencional, en el Nivel A de la Norma IRAM 11604 son mínimas, situación que no se repite en los otros niveles.

Las diferencias son reducidas dado que el diseño de la vivienda es muy similar y los valores de K fueron desarrollados para cumplir con el mismo nivel de la Norma IRAM 11604. Las diferencias son una indicación del nivel de superación de la norma (valores de K menores que el máximo admisible)

4.5 CONCLUSIONES

- Las viviendas analizadas tanto de construcción convencional como las de construcción de tierra que cumplen solo con el Nivel C de la Norma IRAM 11601 Acondicionamiento Térmico de Edificios, no cumplen con la Norma IRAM 11604 Coeficiente Volumétrico G de Perdidas de Calor.
- Es necesario la incorporación de aislación adicional en la envolvente del edificio para poder cumplir con el Nivel B de la Norma IRAM 11604.
- Para cumplir con el Nivel A de la Norma IRAM 11604, es necesario incrementar la aislación inclusive en contacto con el suelo.
- Las diferencias de requerimiento de carga térmica anual, son notorias entre los diferentes sistemas constructivos, cuando solo se cumple con el Nivel C de la Norma IRAM 11604.
- Al cumplir con el Nivel B de la Norma IRAM 11604, las diferencias de carga térmica entre los diferentes sistemas constructivos se reducen, ya que la aislación térmica incorporada equilibra las diferentes resistividades de los materiales constructivos.
- La incorporación de la aislación necesaria para cumplir con la Norma IRAM 11604 en el Nivel A, iguala el comportamiento térmico de las diversas construcciones, requiriendo valores de carga térmica similares en diversos casos.

Si bien las cargas térmicas de vivienda de construcción convencional y no convencional de tierra son similares con muros y techo con transmitancia térmica en los Niveles A y B, se considera que hay una gran diferencia en la demanda de energía para su fabricación. En el próximo capítulo se presenta el estudio comparativo sobre la energía incorporada en los materiales de construcción de las viviendas presentadas en este capítulo y los capítulos anteriores.

Capítulo 5

Energía Incorporada en la construcción con tierra

5.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta el estudio comparativo sobre la energía incorporada en los materiales constructivos de una vivienda convencional y otras viviendas construidas con distintas técnicas constructivas de tierra. En función del cómputo métrico de los materiales de cada una de las viviendas se determina la energía incorporada a la misma, comparándose la energía incorporada en las distintas alternativas constructivas en tierra con la de la vivienda convencional.

5.2 - PROCEDIMIENTO

Sobre las viviendas analizadas en el Capítulo 3 (ver Figura 1 y Anexo planos) se realizó el despiece de las mismas para poder realizar el cómputo de materiales (ver Anexo de tablas complementarias de cómputo de materiales), se consideró la obra gruesa, pisos, muros, techos y carpinterías, no se tomó en cuenta las instalaciones ya que estas siendo iguales en todos los casos no aportan elementos modificatorios a la investigación. Sobre la totalidad de cada uno de los materiales de cada vivienda se incluyó la energía incorporada de los mismos, producto del proceso de fabricación de ellos, más la energía incorporada que tienen los productos intervinientes en el proceso,

Los datos de la energía incorporada proviene del estudio ICE, (Hammond y Jones, 2011) un estudio muy completo, pero basado en datos de Europa, por falta de referencias completas y confiables para Argentina. Se reconoce que hay diferencias en la demanda de energía para la fabricación de materiales en ambas regiones. Sin embargo, las diferencias entre distintos materiales son significativas y el uso de fuentes extranjeros no afecta el resultado de la comparación. .

Estos estudios del contenido energético no incluye la energía para transporte desde la fábrica a la obra, ni la energía necesaria para la construcción. Se considera costos de transporte similar en todos los casos, aunque en zonas rurales con disponibilidad de tierra apta en el terreno o muy cercana, se puede reducir el costo de transporte para las distintas construcciones en tierra en forma significativa.

La energía en obra también es similar en todos los casos, con la posibilidad de reducir la cantidad de energía con la construcción con tierra.

La vivienda construida con materiales convencionales tiene una carga energética incorporada al igual que las construidas con tierra, se confeccionan planillas en las cuales se incorporan los materiales, su cantidad en metros cúbicos o cuadrados, su peso específico, la cantidad de energía incorporada por cada rubro y la total para la vivienda analizada, referenciándose el origen de los datos y o comentarios aclaratorios.

Se analiza la vivienda convencional que cumple con el Nivel B de la Norma IRAM 11605 y las viviendas construidas con tierra en sus cuatro variantes: adobe, BTC, quincha y tapia. Las mismas cumplen con el Nivel B de dicha norma, calculando en cada caso la cantidad de energía incorporada requerida para la concreción de cada vivienda.

Se considera que para calcular los Niveles C y A de la Norma IRAM 11605, solo es necesario alterar la cantidad de aislación de las viviendas sin necesidad de repetir el cálculo completo, por lo tanto no se confeccionan planillas adicionales para demostrar la diferencia en el contenido energético en estos casos.

En el caso de la vivienda de quincha, ya verificada en el capítulo anterior, cuyo resultado indica que es necesario construirla con doble tabique con aislación en el medio de ambos tabiques para alcanzar el Nivel C de la Norma IRAM 11605, si bien es la única técnica de las analizadas que requiere incorporar aislación para cumplir con el Nivel C. Para cumplir con los Niveles B y A, solo se requiere incrementar la aislación.

5.3 VARIANTES CONSTRUCTIVAS Y CONTENIDO ENERGÉTICO

Las Figuras 5.2 a 5.6 presentan los croquis de detalle de las distintas variantes de muros: convencional, tapia, adobe, quincha y BTC, correspondientes a los cortes de arquitectura de las distintas variantes, con las respectivas especificaciones de los materiales utilizados.

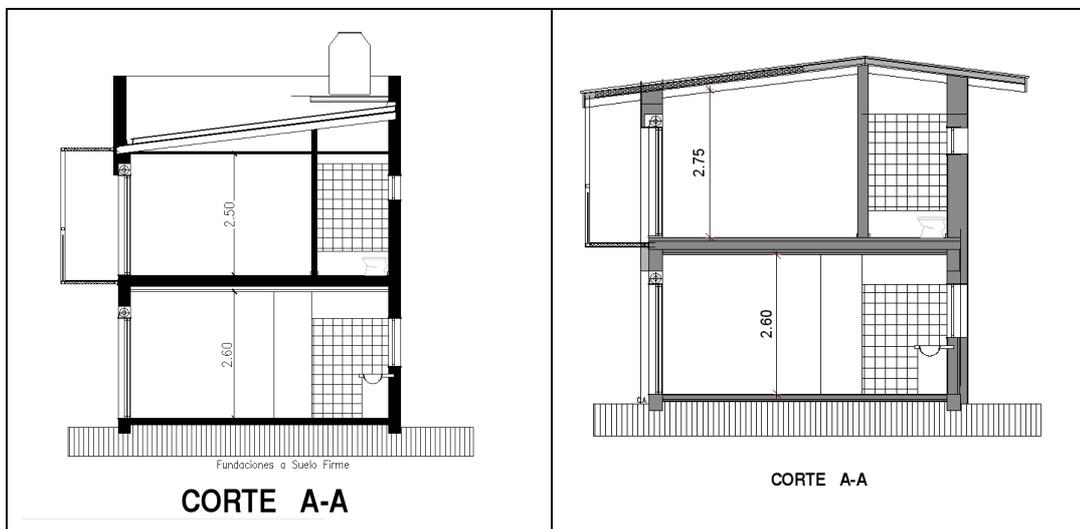


Figura 5.1 Cortes de arquitectura de vivienda convencional y de tierra

A continuación se presentan los detalles de muros y techos en sus distintas variantes de construcción con tierra y convencional.

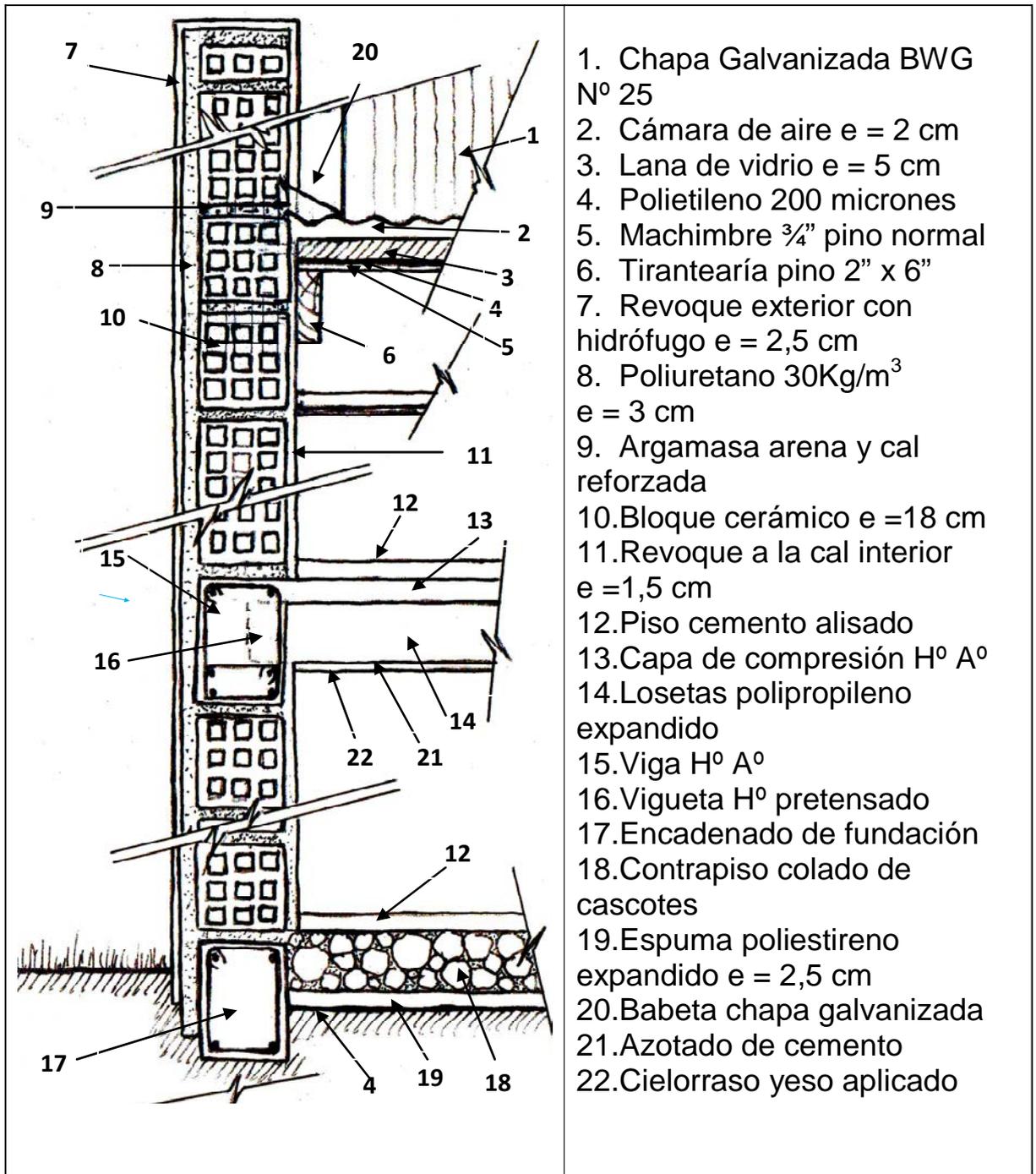


Figura 5.2. Croquis con detalle del muro de construcción convencional

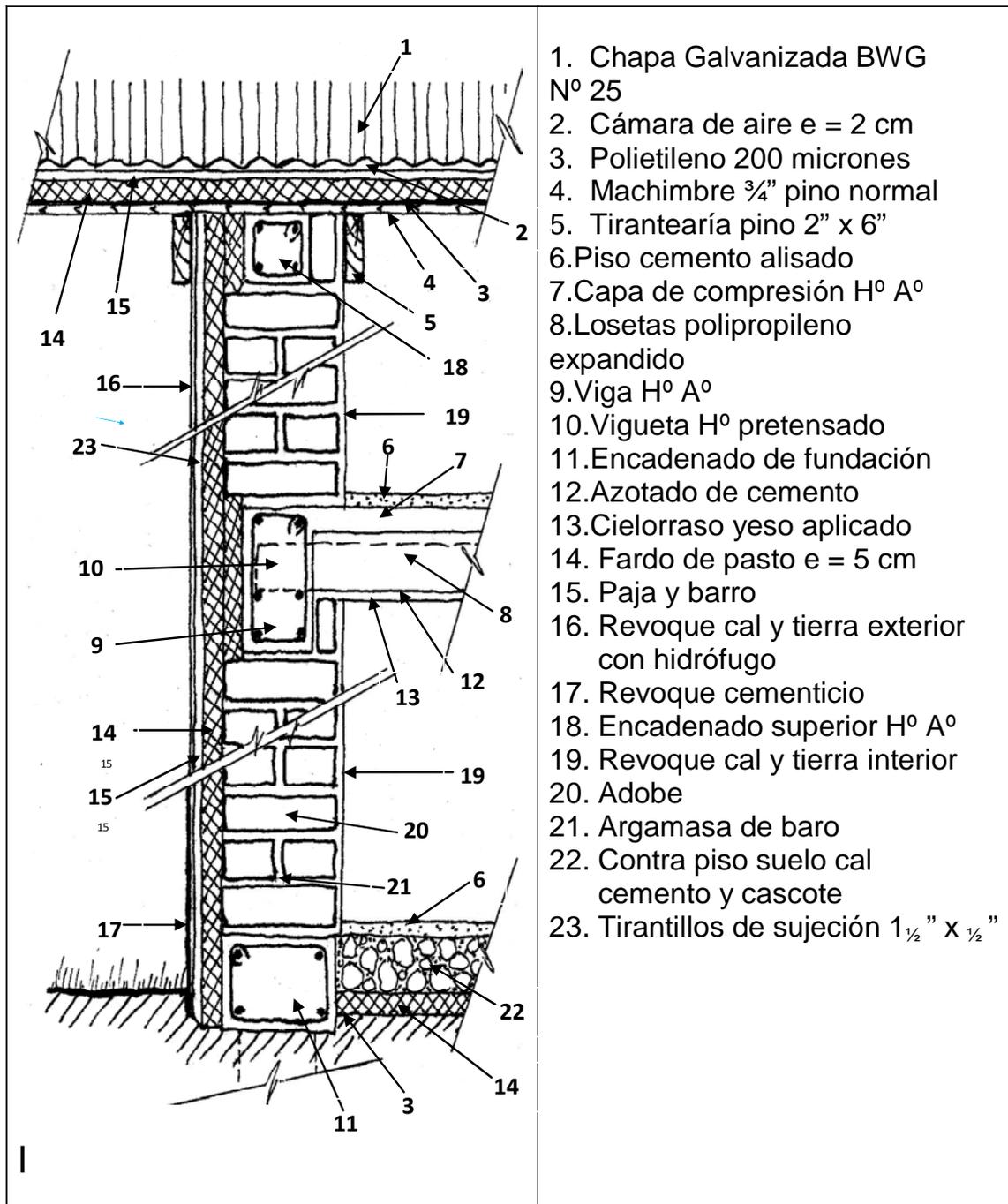


Figura 5.3 Croquis con el detalle del muro de adobe y techo con aislación natural.

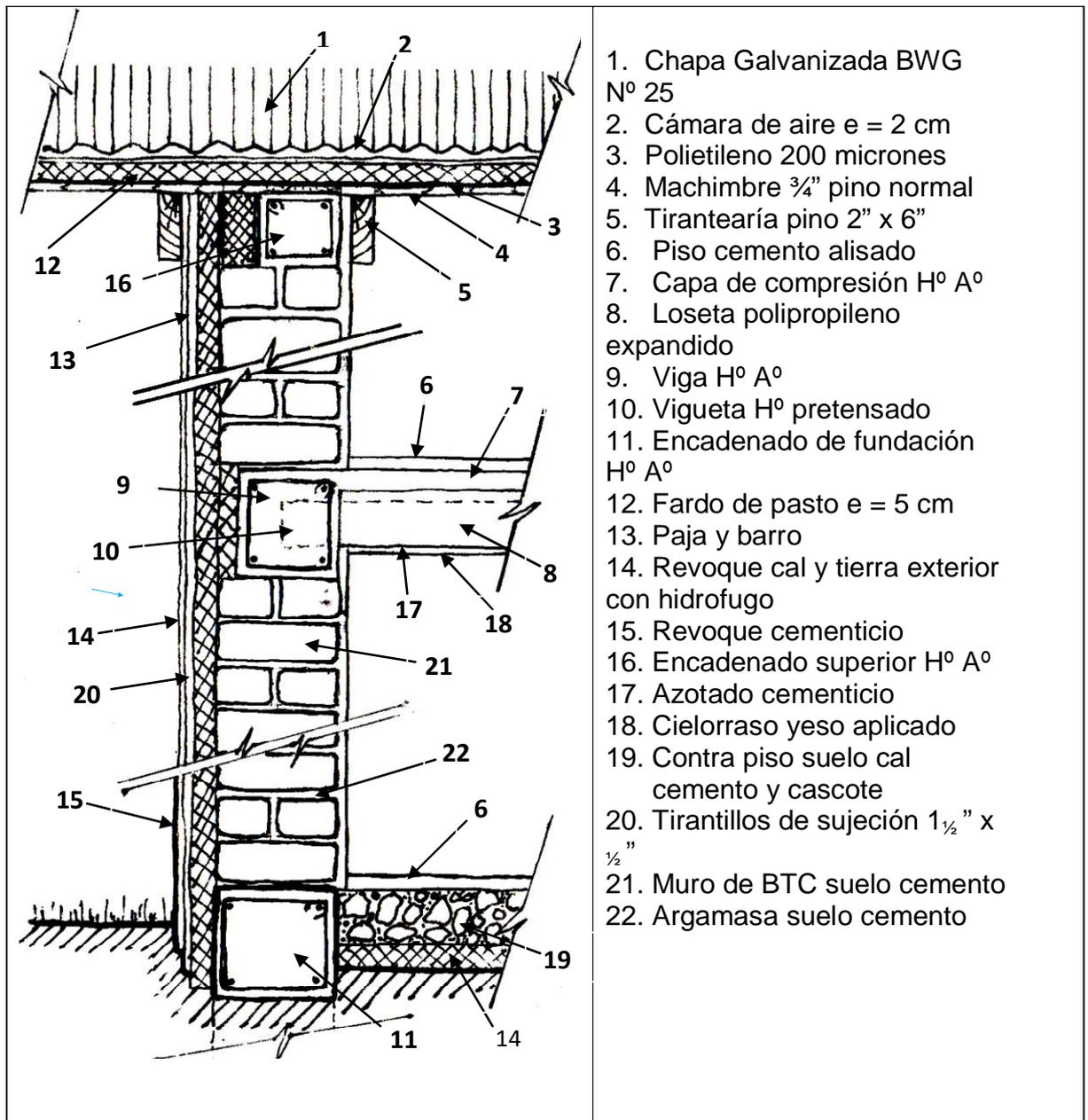


Figura 5.4. Croquis con el detalle del muro de BTC y techo con aislación natural.

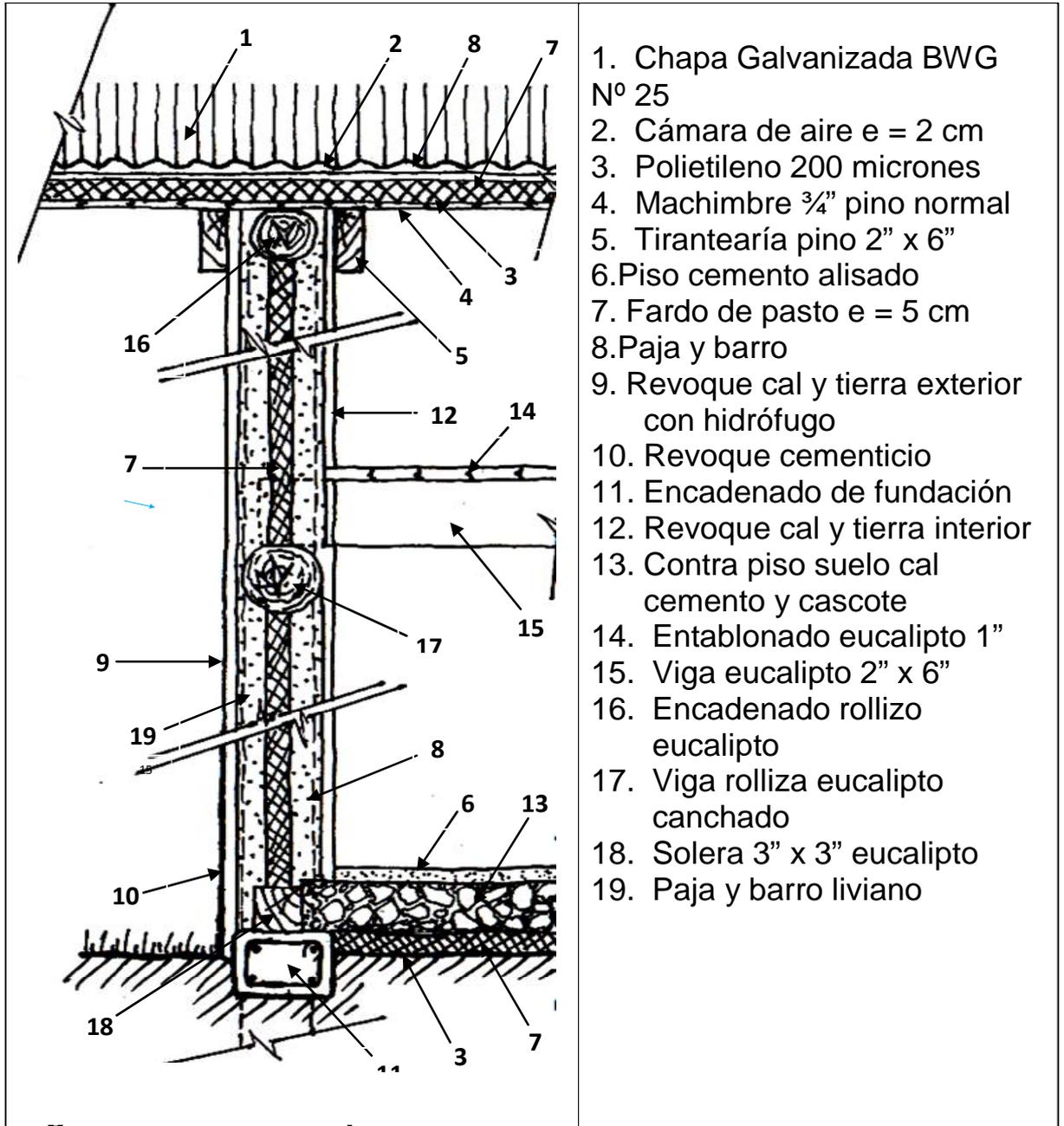


Figura 5.5 Croquis con el detalle del muro de quincha y techo con aislación natural.

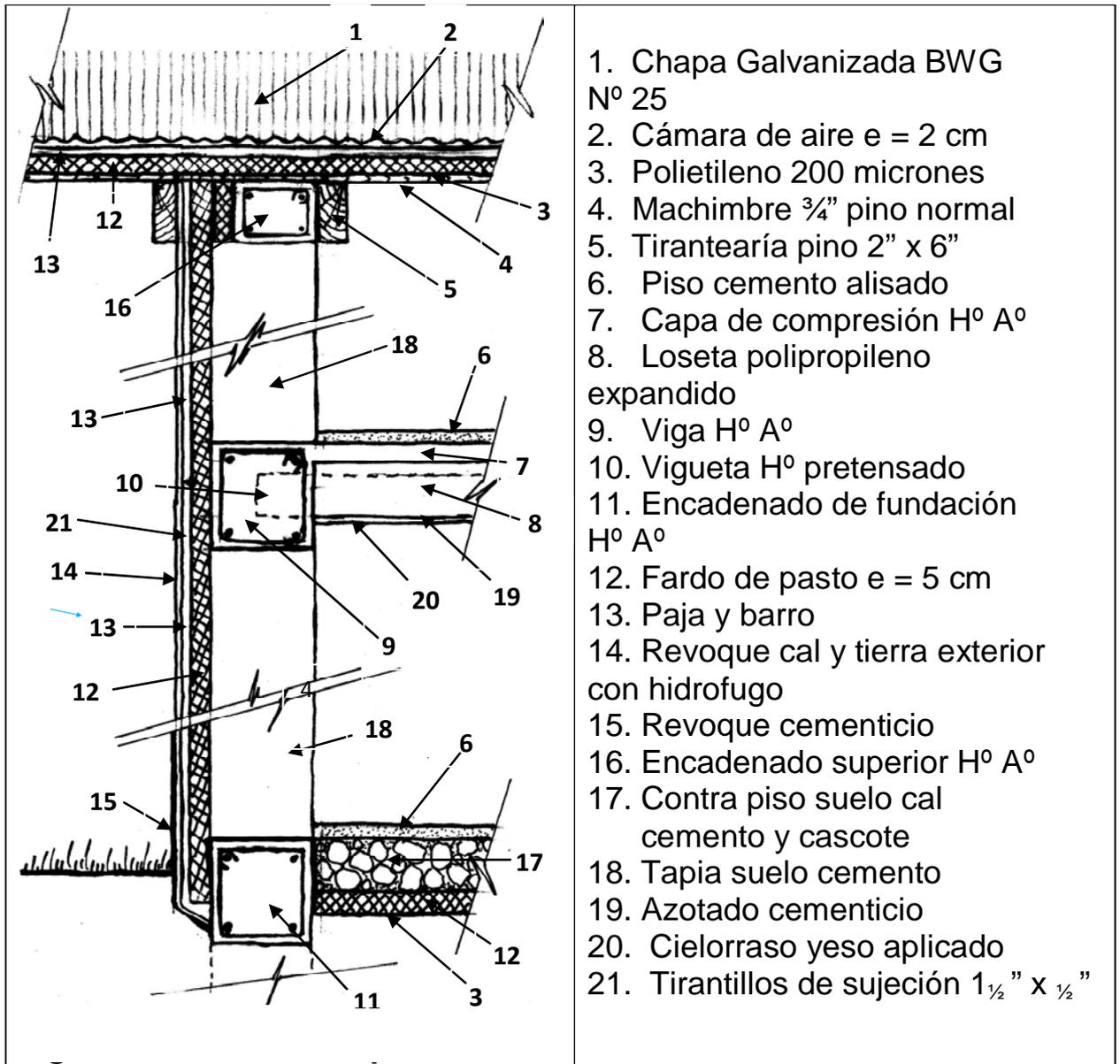


Figura 5.6 Croquis con el detalle del muro de tapia y techo con aislación natural.

A continuación de los cortes detallados de las distintas variantes constructivas, se despliegan las planillas con el detalle de los distintos rubros de obra con su correspondiente energía incorporada. Se inicia la serie con la tabla correspondiente a la construcción convencional, Tabla 5.1., continuando con la de adobe, BTC, quincha y, finalmente, la construcción de tapia, Tablas 5.2 a 5.5.

5.1 - Tabla Energía Incorporada - Convencional - Nivel B									
Elemento	Cantidad			Cantidad Total m³	Peso Específico Kg/m³	Total Peso Específico Kg/m³	Energía Incorporada MJ/Kg	Total Energía Incorporada MJ	Comentarios
	ml	m²	m³						
Encadenado Inf.			1,80	1,80	2400	4320	1,92	8294,4	Deduc. Chandias
Columnas			1,98	1,61	2400	3864	1,92	7418,9	
Vigas Entrepiso			1,20	1,20	2400	2880	1,92	5529,6	
Encadenado Superior			0,88	0,88	2400	2112	1,92	4055	
Capa de Compresión			1,79	1,79	2400	4296	1,92	8248,3	
Losa Escalera			0,77	0,77	2400	1848	1,92	3548,2	
Viguetas Pretensadas			0,30	0,30	2500	750	1,92	1440	
Losas Telgopor			2,21	2,21	25	55,23	88,6	4892,9	
Azotado cement.			0,15	0,15	2100	319,20	1,33	424,54	
Cielorraso yeso			0,61	0,61	1400	848,40	1,8	1527,1	
Bloque Cer. 0,18	117	21,01	21,01	1300	27313	10	273130		
Bloque Cer. 0,12	8,66	1,04	1,04	1300	1352	10	13520		
Bloque Cer. 0,08	15,3	1,22	1,22	1300	1586	10	15860		
Mortero de asiento			1,8	1,8	1700	3060	1,03	3151,8	
Azotado hidrófugo	133	0,66	0,66	2100	1386	1,33	1843,4		
Poliuretano	133	3,98	3,98	40	159,2	101,5	16159		
Revoque Exterior	133	3,32	3,32	1900	6298,5	1,03	6487,5		
Revoque Interior	152	3,04	3,04	1700	5168	1,03	5323		
Azulejos	18,6	0,11	0,11	2400	264	12	3168		
Piso Cemento Alisado	61,7	1,23	1,23	2100	2592,7	1,33	3448,2		
Contrapiso	30,9	3,70	3,70	1800	6667,2	0,85	5667,1		
Poliestireno Expandido	27,3	0,68	0,68	20	13,68	88,6	1212		
Polietileno 200µ	41,2	0,008	0,0082	920	7,58	83,1	629,66	150m²= 27,6Kg 0,577 Kg/ml	
Perefil Galv.	57			0,577	32,89	22,60	743,29		
Chapa Yeso	30,2	0,38	0,38	1024	386,05	6,75	2605,8		
Chapa Galv.	37,4	0,019	0,019	7800	145,86	22,6	3296,4		
Lana de vidrio	31,9	1,595	1,595	40	63,8	28	1786,4		
Clavadera		0,133	0,133	450	59,85	10	598,5		
Polietileno	33,6	0,007	0,0143	920	13,13	83,1	1091,4		
Machimbre	36,2	0,652	0,652	450	293,4	10	2934		
Tirantería		0,577	0,577	450	259,65	10	2596,5		
Carpintería Aluminio		0,19	0,19	2700	513	154	79002		
Chapa BWG Nº 18		0,0064	0,0064	7850	50,24	19,8	994,75		
Cortina de Enrollar	17,2	0,105	0,105	900	94,5	95,1	8987		
Puertas Madera	4,92	0,07	0,07	510	35,7	12	428,4		
Vidrio Doble	23,3	0,186	0,186	2500	465	15	6975		
Vidrio Simple	0,90	0,002	0,002	2500	5	15	75		
Pintura Exterior	125					31,5	3943,8		
Pintura Interior	152					21,5	3266,3		
TOTAL							514303		

5.2 - Tabla Energía Incorporada - Adobe - Nivel B								
Elemento	Cantidad		Cantidad Total	Peso Especifico	Total Peso Especifico	Energía Incorporada	Total Energía Incorporada	Comentarios
	m ²	m ³						
Hº Aº								
Encadenado Inferior		2,09	2,09	2400	5016	1,92	9630,72	
Vigas Entrepiso		1,78	1,78	2400	4272	1,92	8202,24	
Encadenado Superior		1,065	1,065	2400	2556	1,92	4907,52	
Capa de Compresión		1,873	1,873	2400	4495,2	1,92	8630,78	
Losa Escalera		0,766	0,766	2400	1838,4	1,92	3529,73	
Viguetas Pretensadas		0,367		2500	918	1,92	1762,56	
Bloques Telgopor		2,209		25	55,23	88,6	4892,94	
Azotado cementicio		0,152	0,152	2100	319,20	1,33	424,54	
Cielorraso yeso apl.		0,606	0,606	1400	848,40	1,8	1527,12	
Muros								
Muro e = 0,3		41,37	41,366	1600	66185,6	0,45	29783,52	
Muro e = 0,15		1,305	1,305	1600	2088	0,45	939,6	
Paja Prensasda		5,506	5,506	90	495,54	0,16	79,29	Minke
Enrejado de Madera		2,143	2,143	450	964,35	10	9643,5	
Barro y Paja		2,753	2,753	1300	3578,9	0,0036	12,88	
Revoque Exterior		1,67	1,67	1800	3006	0,68	2044,08	Con 5% Cemento ceniza + 2% cal
Revoque Interior		5,889	5,889	1600	9422,4	0,56	5276,54	
Zócalo cal reforzada		0,169	0,169	2000	338	1,03	348,14	
Azulejos	18,61	0,108	0,108	2400	259,2	12	3110,4	
Pisos								
Piso Cemento Alisado			1,26	2100	2646	1,33	3519,18	
Contrapiso	31,61	3,794	3,794	1800	6829,2	0,85	5804,82	
Fardo de paja	31,61	1,58	1,58	90	142,2	0,16	22,752	
Polietileno 200µ	42,16	0,0084	0,0084	920	7,76	83,1	644,95	150m ² = 27,6Kg
Techo								
Chapa Galvanizada		0,042	0,042	7800	327,6	22,6	7403,76	
Cumbrera BWG 25		0,003	0,003	7800	23,4	22,6	528,84	
Barro y paja		1,073	1,073	1300	1394,9	0,0036	5,02	
Paja Prensasda		2,68	2,68	90	241,2	0,16	38,59	Minke
Clavadera		0,32	0,32	450	144	10	1440	
Polietileno	71,38	0,014	0,014	920	13,14	83,1	1091,73	
Machimbre		1,47	1,47	450	661,5	10	6615	
Tirantería		1,50	1,50	450	675	10	6750	
Carpinería								
Aluminio		0,02	0,02	2700	54	154	8316	
Puerta entrada	1,85	0,05	0,05	700	35,00	12	420,00	
Cortina de Enrollar		0,114	0,114	900	102,6	95,1	9757,26	
Puertas de Madera		0,074	0,074	510	37,74	12	452,88	
Vidrio Doble		0,2	0,2	2500	500	15	7500	
Vidrio Simple		0,002	0,002	2500	5	15	75	
Pintura Exterior	249,5							
Pintura Interior	513,3		762,79		180	5,3	954	
TOTAL							124715	

5.3 -Tabla Energía Incorporada - BTC Nivel B								
Elemento	Cantidad		Cantidad Total	Peso Especifico	Total Peso Especifico	Energía Incorporada	Total Energía Incorporada	Comentarios
	m ²	m ³						
Hº Aº								
Encadenado Inferior		1,95	1,95	2400	4680	1,92	8985,6	
Vigas Entrepiso		1,71	1,71	2400	4113,6	1,92	7898,112	
Encadenado Superior		1,06	1,06	2400	2555,3	1,92	4906,14	
Capa de Compresión		1,58	1,58	2400	3787,2	1,92	7271,42	
Losa Escalera		0,77	0,77	2400	1837,4	1,92	3527,88	
Viguetas Pretensadas		0,375	0,375	2500	937,5	1,92	1800	
Bloques Telgopor		2,19	2,19	25	54,85	88,6	4859,71	
Azotado cementicio		0,16	0,16	2100	331,8	1,33	441,29	
Cielorraso yeso apl.		0,63	0,63	1400	883,4	1,8	1590,12	
Muros								
Muro e = 0,29		40,08	40,08	2000	80160	0,83	66532,80	
Muro e = 0,14		1,31	1,31	2000	2610	0,83	2166,3	
Paja Prensasda		5,54	5,54	90	498,69	0,16	79,79	Minke
Enrejado de Madera		2,12	2,12	450	954,18	10	9541,8	
Barro y Paja		2,22	2,22	1300	2880,8	0,0036	10,37	
Revoque Exterior		1,80	1,80	1800	3232,8	0,68	2198,30	5% cemento
Revoque Interior		3,46	3,46	1600	5539,2	0,56	3101,95	ceniza + 2% cal
Zocalo Cementicio		0,18	0,18	2000	364	1,33	484,12	
Azulejos	18,61	0,11	0,11	2400	259,2	12	3110,4	
Pisos								
Piso Cemento Alisado		1,26	1,26	2100	2650,2	1,33	3524,77	
Contrapiso	31,56	3,79	3,79	1800	6816,6	0,54	3680,96	
Fardo de paja	31,56	1,58	1,58	90	142,02	0,16	22,72	
Polietileno 200µ	43,52	0,01	0,01	920	8,004	83,1	665,13	150m ² = 27,6Kg
Techo								
Chapa galv. BWG 25		0,05	0,05	7800	352,72	22,6	7971,38	
Barro y paja		1,07	1,07	1300	1394,9	0,0036	5,02	
Paja Prensasda		2,68	2,68	90	241,29	0,16	38,61	Minke
Clavadera		0,32	0,32	450	144,81	10	1448,1	
Polietileno		0,01	0,01	920	13,156	83,1	1093,26	
Machimbre		1,47	1,47	450	662,54	10	6625,35	
Tirantería		1,21	1,21	700	845,6	10	8456	
Carpinería								
Aluminio		0,02	0,02	2700	53,19	154	8191,26	
Puerta entrada	1,85	0,05	0,05	700	35	12	420,00	
Cortina de Enrollar		0,11	0,11	900	103,23	95,1	9817,17	
Puertas de Madera		0,07	0,07	510	37,64	12	451,66	
Vidrio Doble		0,20	0,20	2500	505,5	15	7582,5	
Vidrio Simple		0,002	0,002	2500	5,5	15	82,5	
Pintura Exterior	108,64							
Pintura Interior	151,92		260,56		180	5,3	954	
TOTAL							160475	

5.4 - Tabla Energía Incorporada - Quincha - Nivel B								
Elemento	Cantidad		Cantidad Total	Peso Especifico	Total Peso Especifico	Energía Incorporada	Total Energía Incorporada	Comentarios
	m ²	m ³						
Hº Aº								
Encadenado inf		1,29	1,29	2400	3084	1,92	5921,28	
Capa aisladora		0,51	0,51	2100	1079	1,33	1435,60	
Estructura de Madera								
Columna Eucalipto		2,13	2,13	700	1490,3	10	14903	
Solera Incienso		0,18	0,18	980	180,32	10,40	1875,33	
Vigas Eucalipto		1,88	1,88	700	1313,2	10	13132	
Tirantería entepiso		0,33	0,33	700	227,5	10	2275	
Tirantería techo		0,61	0,61	700	427	10	4270	
Machimbre entepiso		0,76	0,76	700	532	10	5320	
Machimbre techo		1,37	1,37	450	617	7,40	4562,1	
Tirantería muros		0,60	0,60	700	420	10	4200	
Varas de osamenta		1,19	1,19	450	535,5	7,40	3962,7	
Escalera		0,20	0,20	980	199,92	10,4	2079,17	
Tirantes escalera		0,05	0,05	700	35,7	10	357	
Acero p/estructura		0,02	0,02	7850	150,72	22,10	3330,91	
Techo								
Chapa Galvanizada		0,084	0,08	7800	655,2	22,60	14807,52	
Paja y barro		1,411	1,41	1300	1834,3	0,004	6,60	
Fardo de paja		3,53	3,53	90	317,7	0,16	50,83	
Clavadera		0,289	0,29	450	130,05	7,4	962,37	
Polietileno 200 µ		0,014	0,01	920	12,88	83,10	1070,33	
Muros								
Zócalo cal reforzada		0,13	0,13	1900	237,5	1,03	244,63	
Cal y tierra ext.		2,63	2,63	1800	4739,4	0,54	2559,28	
Paja y barro		6,32	6,32	1300	8216	0,0036	29,58	
Fardo de paja		5,27	5,27	90	474,3	0,16	75,89	
Paja y barro		10,55	10,55	1300	13715	0,0036	49,37	
Cal y tierra int.		4,4	4,4	1600	7040	0,054	380,16	
Azulejos		0,95	0,95	2400	2275,68	12	27308,16	
Pisos								
Contrapiso cascotes		4,68	4,68	1800	8429,4	0,85	7164,99	
Piso cemento alisado		0,94	0,94	2100	1967,7	1,33	2617,04	
Fardo de paja		0,94	0,94	90	84,33	0,16	13,49	
Polietileno 200 micras		0,007	0,007	920	6,81	83,10	565,74	
Carpintería								
Cortina de enrollar PVC		0,11	0,11	900	103,23	95,1	9817,17	
Carpintería de aluminio		0,01	0,01	2700	38,26	154	5892,04	
Puerta entrada		0,05	0,05	700	36,4			
Puerta de madera		0,07	0,07	510	37,74	16	603,84	
Vidrio simple		0,002	0,002	2500	5	15	75	
Vidrio doble		0,20	0,20	2500	497,5	15	7462,5	
Pintura a la cal Exterior	108,64							
Pintura a la cal Interior	151,92		260,56		180	5,3	954	
TOTAL							150335	

5.5 - Tabla Energía Incorporada - Tapia - Nivel B								
Elemento	Cantidad		Cantidad Total	Peso Específico	Total Peso Específico	Energía Incorporada	Total Energía Incorporada	Comentarios
	m ²	m ³						
Hº Aº								
Encadenado Inferior		1,93	1,93	2400	4636,8	1,92	8902,66	
Vigas Entrepiso		1,72	1,72	2400	4118,4	1,92	7907,33	
Encadenado Superior		0,98	0,98	2400	2361,6	1,92	4534,27	
Capa de Compresión		1,35	1,35	2400	3249,36	1,92	6238,77	
Losa Escalera		0,77	0,77	2400	1837,44	1,92	3527,88	
Viguetas Pretensadas		0,37	0,37	2500	928	1,92	1781,76	
Bloques Telgopor		2,17	2,17	25	54,28	88,6	4808,77	
Azotado cementicio		0,16	0,16	2100	329,7	1,33	438,50	
Cielorraso yeso apl.		0,63	0,63	1400	879,2	1,8	1582,56	
Muros								
Muro e = 0,28		35,17	35,17	2000	70348	0,83	58388,84	
Muro e = 0,15		1,31	1,31	2000	2610	0,83	2166,3	
Paja Prensasda		5,13	5,13	90	461,7	0,16	73,87	Minke
Enrejado de Madera		2,12	2,12	450	954,2	10	9541,8	
Barro y Paja		2,7	2,7	1300	3510	0,0036	12,64	
Revoque Exterior		1,62	1,62	1800	2916	0,54	1574,64	5% cemento
Zocalo Cementicio		0,16	0,16	2000	328,4	1,33	436,77	
Azulejos	26,96	0,11	0,11	2400	258,816	12	3105,79	
Pisos								
Piso Cemento Alisado		1,26	1,26	2100	2637,6	1,33	3508,01	
Contrapiso	31,40	3,77	3,77	1800	6782,4	0,85	5765,04	
Fardo de paja	31,40	1,57	1,57	90	141,3	0,16	22,61	
Polietileno 200µ	43,52	0,01	0,01	920	8,28	83,1	688,07	150m ² =27,6Kg
Techo								
Chapa Galvanizada	95,43	0,09	0,09	7800	705,1	22,6	15935,7	
Barro y paja		1,07	1,07	1300	1394,9	0,0036	5,02	
Paja Prensasda		2,68	2,68	90	241,317	0,16	38,61	Minke
Clavadera		0,32	0,32	450	144,0	10	1440	
Polietileno		0,014	0,014	920	13,156	83,1	1093,26	
Machimbre		1,47	1,47	450	662,535	10	6625,35	
Tirantería		1,21	1,21	700	845,6	10	8456	
Carpinería								
Aluminio		0,01	0,01	2700	38,26	154	5891,89	
Cortina de Enrollar		0,11	0,11	900	103,23	95,1	9817,17	
Puertas de Madera		0,07	0,07	510	37,64	12	451,66	
Puerta entrada		0,05	0,05	700	36,26	12	435,12	
Vidrio Doble		0,20	0,20	2500	505	15	7575	
Vidrio Simple		0,002	0,002	2500	5	15	75	
Pintura Exterior	249,5							
Pintura Interior	171,1				180	5,3	954	
TOTAL							156218	

La Tabla 5.1 indica que la energía incorporada por la construcción convencional es de 514 GJ, la de BTC 160 GJ (Tabla 5.2), la de tapia suma 156 GJ (Tabla 5.5), la de quincha es 150 GJ/Kg (Tabla 5.4) y la de adobe 125 GJ/Kg (Tabla 5.2). Es evidente que la energía incorporada en todas las variantes de construcciones de tierra es significativamente inferior a la energía incorporada de la construcción convencional.

La vivienda de BTC, la que mayor energía incorpora entre las variantes de tierra, en su proceso constructivo, llega a solo el 31 % de la energía incorporada de la vivienda convencional. Le sigue en importancia la construcción de tapia, que incorpora el 30 % de la convencional. Aquí es válido aclarar que estas viviendas incorporan un 8 % de cemento en la masa de los muros y la pequeña diferencia de la vivienda de tapia respecto a la de BTC se encuentra en que la primera no requiere revoques interiores.

La construcción con quincha requiere el 29 % de energía respecto a la vivienda de construcción convencional, en este caso tiene mucha injerencia la cantidad de madera que se incorpora en los muros y también el entrepiso y la escalera que son de madera. La vivienda que menor energía incorpora es la construida con adobe, solo un 24 % de la necesaria para la de construcción convencional.

En esta estimación, es probable que la diferencia entre la construcción convencional y la construcción en tierra sea mayor, debido a la diferencia adicional de la energía en transporte y construcción. Como fue comentado en la introducción de este capítulo, se supone una demanda energética similar en estos rubros para todas las alternativas, pero la construcción en tierra ofrece importantes oportunidades para reducir la energía requerida para transporte y operación en obra.

Considerando las viviendas cuya construcción alcanza el Nivel C de la Norma IRAM 11605, la construcción convencional disminuye 8242 MJ en aislación de muros y techo, mas 3480 MJ en vidrios, reduciendo 11722 MJ la energía incorporada, alcanzando los 503 GJ, mostrando que disminuiría un 10 %. La vivienda que alcanza el Nivel A de la Norma 11605 se elevaría a 528 GJ, y incrementaría su energía solo en un 2 % debido al incremento de la aislación del techo en 3216 MJ y 10800 MJ en muros, un aumento de 14 GJ en total.

Situaciones similares se producen en las distintas variables de construcción con tierra, la vivienda de adobe de Nivel C de la Norma IRAM, tiene 111 GJ, un 9 % menos de energía incorporada que la vivienda de Nivel B. En este caso, el rubro que más reduce la energía, es el ahorro de la estructura de madera necesaria para el sostén de la aislación con 9644 MJ, luego los 3750 MJ de vidrios y 111 MJ de aislaciones, resultando 13505 MJ menos. El incremento de energía incorporada en la vivienda de Nivel A respecto de la de Nivel B es de 111 MJ, producto de mayor espesor de la aislación que no llega a 1GJ.

El caso de la vivienda de BTC, la energía incorporada en el Nivel C de la Norma es de 111 GJ, un 9 % inferior a la vivienda de Nivel B, en función de la reducción en aislación en 142 MJ, estructura de madera 9542 MJ y vidrios 3750 MJ, totalizando 13434 MJ. Mientras en la vivienda de Nivel A de la Norma IRAM 11605 incrementa la energía solo en 142 MJ.

En la vivienda de quincha, la disminución de energía incorporada en el Nivel C respecto al Nivel B, es de 3858 MJ, que corresponde fundamentalmente en la reducción de DVH a vidrios simples en 3750 MJ y 108 MJ de paja prensada, alcanzando a 146 GJ. En el Nivel A incrementa 188 MJ de energía respecto al Nivel B, solo en paja prensada, valor mínimo ya que no llega a 1 GJ.

La vivienda de tapia en el Nivel C de la norma tiene una energía incorporada de 143 GJ, un 9 % menos de energía que la vivienda de Nivel B. En el Nivel A de la norma incrementa su energía solo en 142 MJ.

5.4. CONCLUSIONES

Tabla 5.7. Resumen de energía incorporada según nivel de aislación y tipo de construcción

Variante Constructiva	Niveles de aislación					
	B	%	C	%	A	%
Convencional	514	100	498	97	525	102
Adobe	125	24	111	22	125	24
BTC	160	31	151	29	151	29
Quincha	150	29	146	28	146	28
Tapia	156	30	143	29	156	30

Todos los porcentajes están referidos al 100% de la vivienda convencional nivel B

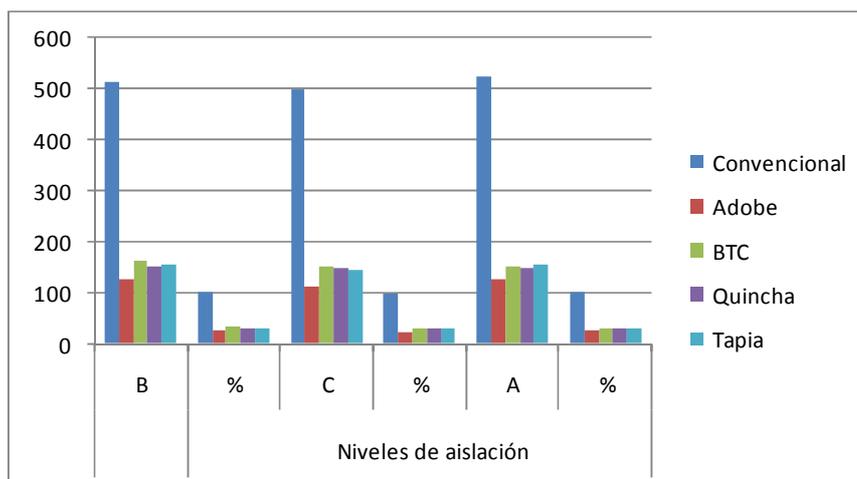


Figura 4.1 Gráfico comparativo de energía incorporada. Resultados de porcentajes referidos al 100 % de la vivienda convencional Nivel B, ver Tabla 6.

Las distintas formas de construcción con tierra disminuyen la demanda de energía para la producción y construcción en forma muy significativa, comparado con la construcción convencional. En todos los casos la demanda de energía para calefacción es similar por cumplir con el mismo nivel de aislación térmica, Norma IRAM 11.605, Nivel B.

El capítulo siguiente presenta el análisis del costo monetario de todas las variantes constructivas para completar este estudio.

Capítulo 6

Evaluación Económica de la construcción con tierra

6.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta el estudio comparativo del costo monetario de las viviendas de construcción con tierra en sus distintas variantes, en relación con la vivienda convencional, analizadas en los capítulos anteriores. Si bien el presupuesto de la vivienda convencional, puede ser desarrollado en mayor profundidad, dado que solo es posible obtener valores aproximados en las viviendas de tierra, al no haber precios estandarizados por ser tipologías constructivas no convencionales y de muy escaso desarrollo en el Gran Buenos Aires. Por lo tanto, se adopta un criterio similar para la vivienda convencional.

En función del cómputo métrico de los materiales de cada una de éstas, se confeccionó planillas con un resumen de costos por rubros para determinar los totales.

La Tabla 6.1 presenta el cómputo métrico de la vivienda convencional como ejemplo.

Tabla 6.1. Cómputo métrico de la vivienda de construcción convencional.

Viv. Convencional Nivel B											
Elemento	Nº	Dimensión			P.E.	Cantidades			Parciales		
		Largo	Ancho	Espesor	Kg/m³	Kg/m³	ml	m²	m³	m³	Kg
Hº Aº											
Encadenado inf	3	6,24	0,20	0,25	2400	2246,40			0,94		
	3	5,76	0,20	0,25	2400	2073,60			0,86	1,80	4320
Encadenado sup	6	2,95	0,18	0,15	2400	1146,96			0,48		
	4	2,80	0,18	0,15	2400	725,76			0,30		
	2	2,80	0,12	0,15	2400	241,92			0,10	0,88	2114,6
Columnas	9	5,51	0,20	0,20	2400	4760,64			1,98		
Capa compresión	1	6,23	5,75	0,05	2400	4298,70			1,79		
Losa escalera	1	3,19	1,60	0,15	2400	1837,44			0,77		
Vigas y dinteles	3	3,57	0,18	0,35	2400	1619,35			0,67		
	3	1,60	0,18	0,20	2400	414,72			0,17		
	2	2,80	0,18	0,30	2400	725,76			0,30		
	1	2,80	0,12	0,15	2400	120,96			0,05	1,20	
Viguetas vibradas - ml	7	6	0,08	0,09	2500	756,00	42,0		0,30		51 ml
	3	3	0,08	0,10	2500	180,00	9,0		0,07	0,37	936,00
Losas Poliest. Exp.	17	2,85	0,38	0,12	25	55,23	48,45		2,21		
Azotado cementicio	1	5,73	5,29	0,005	2100	318,27		30,31	0,15		
Cielorraso yeso apl.	1	5,73	5,29	0,02	1400	848,73		30,31	0,61		

Tabla 6.1. Cómputo métrico, construcción convencional. (continuación).

Viv. Convencional Nivel B											
Elemento	Nº	Dimensión			P.E. Kg/m³	Cantidades				Parciales	
		Largo	Ancho	Espesor		Kg/m³	ml	m²	m³	m³	Kg
Mampostería											
0,18	2	5,34	7,03	0,18	1300	17569	75,08		13,51		
	1	5,92	7,03	0,18	1300	9738,5	41,62	116,7	7,49	21,01	
0,12	1	3,15	2,75	0,12	1300	1351,4		8,66	1,04		
0,08	1	5,65	2,7	0,08	1300	1587		15,26	1,22		30245,2
Mortero de asiento	1				1700	3060			1,8		
Revoque grueso ext.	1	18,9	7,03	0,025	1900	6297,8		132,6	3,31		
Revoque grueso int.	1	16,5	2,6	0,02	1700	1455,1		42,80	0,86		
	1	37,6	2,9	0,02	1700	3710,3	151,92	109,1	2,18	3,04	11463,21
Poliuretano	1	18,9	7,03	0,03	40	159,1		132,6	3,98		
Azotado hidrófugo	1	18,9	7,03	0,005	2100	1392,2		132,6	0,66		
Azulejos	2	3,86	2,05	0,004	2400	151,93		15,83	0,06		
	1	5,43	2,05	0,004	2400	106,86		11,13	0,04	0,11	26,96 m²
Pisos											
Polietileno 200 mic.	1	5,80	7,10	0,0002				41,18	0,01		
Contrapiso cascotes	1	5,34	5,78	0,12	1800	6666,9		30,87	3,70		
Piso cemento alisado	2	5,34	5,78	0,02	2100	2592,7		61,73	1,23		
Poliestireno Expandido	1	5,34	5,12	0,025	20	13,67		27,34	0,68		
Carpintería											
Cort. de enrollar PVC	3	2,77	2,07	0,005				17,20			
	1	1,8	2,07	0,005				3,73	0,00		20,93 m²
Puerta balcon	3	2,78	2,05			16,05		17,10			
	1	1,8	2,05			3,37		3,69			
Puerta	1	0,90	2,05			14,97		1,85			
Ventana cocina	1	0,90	1,00			8,26		0,90			
Ventana escalera	1	1,00	0,50			5,16		0,50			
Ventana paso	1	0,5	0,50			3,44		0,25	0,02		51,25
Marcos de chapa	3	4,90	0,35	0,0013	7800	50,16	50,3	5,15	0,01		
Puerta de madera	3	0,80	2,05	0,015	510	37,64		4,92	0,07		
Vidrio doble	3	2,77	2,07	0,008	2500	344,03		17,20	0,14		
	1	1,8	2,07	0,008	2500	74,52		3,73	0,03		
	3	1,00	0,48	0,008	2500	28,80		1,44	0,01		
	1	1,00	0,90	0,008	2500	18,00	23,27	0,90	0,01	0,19	23,27
Vidrio simple	2	0,80	0,45	0,003	2500	5,40		0,72	0,00		
Cielorraso											
Perfil galvanizado	20	2,85		(Kg/ml>	0,58	32,89	57,0				
	4	5,29		(Kg/ml>	0,58	12,21	21,16	78,2	ml		45,10
placa de yeso	1	5,70	5,29	0,0125	1024	385,96		30,15	0,38		
Techo											
Chapa galv. BWG 25	6	5,4	1,10	0,0005	7800	139,00		35,64	0,02		
Babeta BWG 25	6	2,00	0,15	0,0005	7800	7,02	12	1,80	0,001	0,02	
Lana de vidrio	1	5,50	5,80	0,05	40	63,80		31,90	1,60		
Clavadera	6	5,90	0,05	0,075	450	59,74	35,4		0,13		
Polietileno 200 mic.	1	6,00	5,60	0,0002				33,60	0,01		
Machimbre 3/4	42	5,75	0,15	0,018	450	293,42		36,23	0,65		
Tirantería 3x6	9	5,70	0,15	0,075	450	259,71	51,30	7,70	0,58		
Pintura Ext. (3capas)	3	17,8	7,03					375,6			
Pintura int. (2 capas)	2	16,5	2,60					85,59			
	2	37,6	2,90					218,3			303,8 m²

Nota: Los valores en negrita e inclinados corresponden a sumatorias de ese rubro.

En las variantes constructivas con tierra, dada la escasez de datos sobre desempeño de mano de obra, no solo en la factura de la construcción en sí sino también sobre varios insumos y/o su elaboración, se adecuaron los valores tomando como referencia los valores de la construcción convencional.

6.2 COSTOS ECONÓMICOS

La Tabla 6.1 presenta el computo de la vivienda convencional, mientras las Tablas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6 presentan la estimación de los costos de las viviendas de construcción convencional, abobe, BTC, quincha y tapia respectivamente

La gran mayoría de los precios unitarios de los insumos y rubros de obra se extraen de la Revista Vivienda N° 656, marzo 2017, secciones C1 Rubros de Obra y C2 Materiales. Otros fueron elaborados también sobre precios ofrecidos en páginas de Internet en los primeros días de marzo.

Los costos están basados en las cantidades de cada material, por metro lineal, metro cuadrado o metro cubico según las características de cada ítem.

Nota sobre los cálculos:

- Los costos en las planillas solamente se refieren a la obra gruesa, considerando que las instalaciones interiores, tales como las instalaciones sanitarias y eléctricas, son iguales en diseño y costo en las cuatro alternativas.
- Los valores de peso y volumen de la carpintería de aluminio, se obtuvieron en función del peso específico, deducido del manual de perfilería de aluminio de la línea "Móderna."
- Los valores monetarios de la carpintería de aluminio y madera surgen de la Revista Vivienda N° 656 de marzo de 2017.
- Los valores de las placas de yeso surgen en función del análisis del peso del m² de las placas "Knauf"

Tabla 6.2. Presupuesto, construcción convencional

Presupuesto Vivienda Convencional						Nivel B	
Rubro					Precio	Precio	Comentarios
	ml	m²	m³	Kg.	Unitario	Parcial	
Vigas Hº Aº	0,15		3,00		11214,8	33645	
Columnas			1,98		8848,95	17521	
Capa de compresión			1,79		6454,83	11554	
Encadenados			0,88		377,06	331,81	
Losa escalera			0,77		8058,39	6205	
Viguetas vibradas	51,00				195,24	9957,2	
Losas Polipropileno exp.	48,45				62,5	3028,1	
Azotado cementicio		30,31			99,45	3014,3	
Cielorraso yeso aplicado		30,31			140,81	4268	
Mampost. Lad. Hueco 0,18		116,7			499,59	58302	
Mampost. Lad. Hueco 0,12		8,66			386,53	3347,3	
Mampost. Lad. Hueco 0,08		15,26			305,31	4659	
Revoque exterior		132,60			377,91	50111	
Revoque interior		151,92			343,18	52136	
Poliuretano		132,60			114,35	15163	
Revestimiento azulejos		26,96			957,7	25820	
Polietileno 200µ		74,78			4,24	317,07	
Poliestireno expandido e2,5		27,34			72,72	1988,2	
Contrapiso de cascotes		30,87			229,42	7082,2	
Piso cemento alisado		61,73			234,91	14501	
Cort. de enrollar PVC		20,93			450	9418,5	
Carpintería aluminio	gl			51,25		49924	
Carpintería chapa y madera	3	4,92			1500	4500	
Vidrio doble		23,27			3981,98	92661	
Vidrio simple		0,72			999,82	719,87	
Cielorraso placas de yeso		30,15			293,4	8846	
Techo chapa galvanizada		35,64			540,29	19256	
Babeta BWG 25		12			70,2	842,4	
Tirantería techo 3x6	51,3				104,73	5372,6	
Clavadera	35,4				19,33	684,28	
Machimbre 3/4	36,23				210	7608,3	
Lana de vidrio	31,9				67,3	2146,9	
Pintura exterior		375,6			102,65	38555	
Pintura interior		303,8			93,64	28448	
TOTAL						\$ 591933	

Tabla 6.3. El presupuesto de la vivienda de adobe.

Presupuesto Vivienda Adobe					Nivel B		Comentarios
Rubro	ml	m ²	m ³	Kg.	Precio Unitario	Precio Parcial	
Vigas Hº Aº			3,86		11215	43289	Mat. Y M. de O.
Encadenado superior			1,06		377,06	399,68	
Capa de compresión			1,87		6454,8	12071	
Losa escalera			0,77		8058,4	6164,7	
Viguetas vibradas	51				195,24	9957,2	Mat. Y M. de O.
Losas Polipropileno exp.	48,45				62,5	3028,1	Mat. Y M. de O.
Azotado cementicio		30,31			99,45	3014,3	
Cielorraso yeso aplicado		30,31			140,81	4268	
Fabricación adobes	6410 U	22	días		458,43	10085	
Suelo seleccionado			35		140	4900	
Mampost. adobe 0,30		137,89	41,4		1977	81788	
Mampost. adobe 0,15		8,70	1,31		2133	2783,6	
Fardo de paja (total)		195,65	9,77		35	341,95	
Barro y Paja (total)		125,03	3,83		70	267,82	
Varillas de madera	470				6	2820	
Revoque exterior		111,30	1,67		132,16	14709	
Revoque interior		294,44	5,89		130,76	38501	
Zocalo cementicio		11,28			78,06	880,52	
Revestimiento azulejos		26,96			957,7	25820	
Polietileno 200 µ (total)		113,54			4,24	481,41	
Contrapiso de cascotes		31,61			229,42	7252	
Piso cemento alisado (total)		63,23			234,91	14853	
Cort. de enrollar PVC		22,77			450	10247	
Carpintería aluminio	gl			38,26		37270	
Puerta entrada madera	1	1,85			5814	5814	
Puerta de madera	3	4,92			1766,7	26076	
Vidrio doble		24,89			3982	99111	
Vidrio simple		0,72			999,82	719,87	
Techo chapa galvanizada		84,94			540,29	45892	
Cumbrera galvanizada	10,98				82,5	905,85	
Tirantería	107,4				104,73	11248	
Clavadera	85,8				19,33	1658,5	
Machimbre 3/4		76,68			210	16103	
Pintura Ext. Cal + Imper.		249,53			67,12	16748	
Pintura interior a la Cal		342,18			66,41	22724	
TOTAL						582194	

A continuación se presenta la Tabla 6.4 con el presupuesto de la vivienda de BTC.

Tabla 6.4 Presupuesto Vivienda BTC						Nivel B	
Rubro	Dimensión				Precio	Precio	Comentarios
	ml	m ²	m ³	Kg.	Unitario	Parcial	
Vigas Hº Aº			3,66		11214,8	41046,31	
Encadenado superior			1,06		377,06	399,68	
Capa de compresión			1,58		6454,83	10185,72	
Losa escalera			0,77		8058,39	6164,67	
Viguetas vibradas	52,20				195,24	10191,5	
Losas Polipropileno exp.	49				62,5	3062,50	
Azotado cementicio		31,56			99,45	3138,64	
Cielorraso yeso aplicado		31,56			140,81	4443,96	
Fabricación BTC	29	días			458,43	13294,47	suelo = \$ 140/m ³
Suelo selec. + 8 % cem.			50		412	20600	con 8% cemento
Suelo seleccionado			3		140	420	
Mampostería BTC 29	8377 U	138,21	40,08		893,52	35811,39	
Mampostería BTC 14	282 U	8,7	1,305		446,76	583,02	total 8660 U
Fardo de paja total		85,19	7,84		35	274,4	
Barro y Paja total			9,80		70	686,07	
Varillas de madera	465				6	2790	
Revoque exterior		119,70			132,16	15819,55	
Revoque interior		173,10			130,76	22634,56	
Zocalo cementicio		12,13			78,06	946,87	
Revestimiento azulejos		26,96			957,7	25819,59	
Polietileno 200 µ total		114,9			4,24	487,18	
Contrapiso de cascotes		31,56			229,42	7240,50	
Piso cemento alisado		63,12			234,91	14827,52	
Cort. de enrollar PVC		22,94			450	10323	
Carpintería aluminio	gl			38,26		37270	
Puerta entrada madera	1	1,845			5814	5814	
Puerta de madera	3	4,92			1766,67	5300,01	
Vidrio doble		24,89	0,20		3982	99111,48	
Vidrio simple		0,72	0,002		999,82	719,87	
Chapa galv. BWG 25		84,94			540,29	45892,23	
Cumbrera BWG 25	11				82,5	907,5	
Tirantería de 3" x 6"	107,4				104,73	11245,91	
Clavadera 2" x 3"	85,8				19,33	1658,51	
Machimbre de 3/4"		81,79			210	17175,9	
Pintura exterior		249,53			67,12	16748,45	
Pintura interior		342,2			66,41	22725,50	

En la siguiente tabla se analiza el presupuesto de la vivienda de quincha.

Tabla 6.5. Presupuesto Vivienda Quincha						Nivel B	
Rubro					Precio	Precio	Comentarios
	ml	m ²	m ³	Kg.	Unitario	Parcial	
Encadenado inf			1,29		11214,8	14411,07	Es incluye M. de O. en madera igual al costo del material
Capa aisladora		25,7	0,51		124,4	3197,08	
Columna Eucalipto	83,7		2,13		168	14061,60	
Solera Incienso	18,36		0,18		140	2570,40	
Vigas Eucalipto	101,02		1,78		140	14142,80	
Tirantería entrepiso	43,35		0,33		192	8323,20	
Machimbre entrepiso		30,37	0,76		290	8807,3	
Tirantería techo	122		0,61		104,73	12771,82	
Clavadera	77,04		0,29		36	2773,44	
Machimbre techo		76,17	1,37		210	15995,7	
Tirantería muros 2" x 4"	104,4		0,52		36	3758,40	
Tirantería muros 1" x 4"	30,8		0,08		24	739,20	
Varas de osamenta	2640		1,19		4,5	11880,0	
Pedadas escalera	24	U	0,18		780	18720	
Tirantes escalera	13,6		0,05		76,5	1040,4	
Acero p/estructura				150	62	9300	
Chapa Galv. BWG 25		80,39			540,29	43433,91	
Cumbrera BWG 25	7,32				82,5	603,9	
Suelo seleccionado			26		140	3640,00	
Paja y barro techo			1,41		70	98,77	
Fardo de paja total			8,8		35	308,00	
Polietileno 200 µ		107,75			4,24	456,86	
Zócalo cal reforzada		12,5			78,06	975,75	
Cal y tierra ext.		105,3			132,16	13916,45	
Paja y barro muros		281,1	16,87		78,6	1325,98	
Cal y tierra int.		175,8			130,76	22987,61	
Azulejos		23,71			957,7	22707,07	
Contrapiso cascotes		31,22	4,68		229,42	7162,49	
Piso cemento alisado		31,22	0,94		234,91	7333,89	
Cortina de enrollar PVC		22,94			450	10323	
Carpintería aluminio	gl			38,26		37270	
Puerta entrada madera	1	1,85			5814	5814	
Puertas de madera	3	4,92			1766,67	5300,01	
Vidrio simple		0,72			999,82	719,87	
Vidrio doble		24,89			3982	99111,48	
Pintura cal Ext. + Imperm.		326,7			67,12	21928,10	
Pintura a la cal Interior		322,8			66,41	21437,15	
TOTAL						\$ 469347	

Se presenta a continuación el presupuesto de la vivienda de tapia.

Tabla 6.6 Presupuesto Vivienda Tapia						Nivel B	
Rubro					Precio	Precio	Comentarios
	ml	m ²	m ³	Kg.	Unitario	Parcial	
Vigas H ^o A ^o			3,65		11214,8	40911,7	
Encadenado superior			0,98		377,06	371,03	
Capa de compresión			1,35		6454,83	8739,19	
Losa escalera			0,77		8058,39	6169,5	
Viguetas vibradas	51,00				195,24	9957,24	
Losas Polipropileno exp.	47,6		2,17		62,5	2975	
Azotado cementicio		31,4			99,45	3122,73	
Cielorraso yeso aplicado		31,4			140,81	4421,43	
Suelo seleccionado			47		412	19364	
Suelo seleccionado			3		140	420	
Muro tapia 0,28	3	Oper.	35,17		456,12	48130,7	
Muro tapia 0,15	3		1,31		456,12	1785,71	
Fardo de paja total			6,7		35	234,5	
Varillas de madera	465		2,12		6	2790	
Barro y Paja total			3,77		70	263,9	
Revoque exterior		107,98	1,62		132,16	14270,6	
Zocalo cementicio		10,94	0,16		78,06	853,976	
Revestimiento azulejos		26,96	0,1		957,7	25819,6	
Polietileno 200 μ total		114,9			4,24	487,176	
Contrapiso de cascotes		31,40	3,77		229,42	7203,79	
Piso cemento alisado		31,40	0,63		234,91	7376,17	
Cort. de enrollar PVC		22,94			450	10323	
Carpintería aluminio	gl			38,26		37270	
Carpintería madera	3	4,92			1500	22140	
Puerta entrada madera	1	1,845			5814	5814	
Vidrio doble		24,89	0,20		3982	99111,5	
Vidrio simple		0,72	0,002		999,82	719,87	
Techo chapa galvanizada		84,94			540,29	45892,2	
Cumbrera BWG 25	11	5,49			82,5	452,925	
Tirantería de 3" x 6"	107,4				104,73	11245,9	
Clavadera 2" x 3"	85,8				19,33	1658,51	
Machimbre de 3/4"		81,79	1,47		210	17175,9	
Pintura exterior		249,5			67,12	16748,5	
Pintura interior		171,1			66,41	11362,1	
TOTAL						485582	

Considerando las viviendas cuya construcción alcanza el Nivel C de la Norma IRAM 11605, el costo de la construcción convencional disminuye por el ahorro de la aislación en muros, techo y, principalmente, por la utilización de vidrio simple en todas las aberturas.

De esta manera, se reduce \$ 859 en la aislación del techo, \$ 15163 en los muros y \$ 69395 con el cambio de vidrios, lo que arroja una reducción de \$ 85417 y, por lo tanto, el costo de la vivienda es de \$ 506516; su costo representa un 86% del costo de la vivienda de Nivel B, equivalente a una reducción del 14,4 %.

Si se analiza la vivienda de Nivel A de la Norma 11605 respecto de la estudiada de Nivel B, solo se incrementa por el costo de la mayor incorporación de aislación. En el techo \$ 3864 y en los muros de \$ 10109, sumando \$13973, el costo de la vivienda de Nivel A es de \$ 605906; solo se incrementa en un 2 % respecto a la del Nivel B de la Norma IRAM 11605.

Analizando la vivienda de adobe, la construcción de Nivel C reduce su costo por la aislación de paja en \$ 286, la madera sostén de aislación \$ 2820 y vidrios en \$ 74226, lo que implica un monto de \$ 77332, siendo su costo total \$ 507543. El costo resulta así un 87 % del valor de la vivienda de Nivel B, reduciéndose en un 13 %.

La misma vivienda en el Nivel A de la Norma solo incrementa su costo respecto de la vivienda de Nivel B, en solo \$ 304 por su mayor aislación, suma ínfima en relación al valor de la vivienda, con un costo final de \$ 585179.

Las viviendas de BTC, quincha y tapia, reducen su costo en el Nivel C de la Norma IRAM 11605 y lo incrementan en el Nivel A, en montos similares. Siendo el valor final de la vivienda de BTC Nivel C \$ 438429 y el costo de la misma en el Nivel A \$ 516065.

La vivienda de quincha con Nivel C tiene un costo de \$ 393480 y \$ 471116 con Nivel A.

Por último, la vivienda de tapia de Nivel C de la norma tiene un valor de \$ 410934, mientras la de Nivel A incrementa su costo alcanzando \$ 488570.

6.3 CONCLUSIONES

Se aprecia en la Tabla 6.7 de resumen, que las diferencias de costo de la construcción de adobe es reducida comparada con la construcción convencional, ya que es solo un 1 % menor que ésta. La construcción de BTC tiene un costo inferior, siendo un 13 % menor respecto a la convencional. La construcción de tapia resulta un 18 % inferior y la más económica es la construcción con quincha, con un costo 20 % inferior a la construcción convencional.

También se observa en la Tabla 6.7 que la ocupación del suelo de las construcciones de tierra es mayor que la construcción convencional, salvo el caso de la construcción de quincha. Resultado desfavorable para zonas de gran densidad urbana, donde el valor de la tierra es apreciable.

El costo monetario de la construcción con tierra se reduciría en zonas rurales o semi-rurales, donde los costos de fletes de ésta son mínimos, y un porcentaje alto podría obtenerse en el mismo lote. Pero en este caso, en zona urbana, los costos de la tierra y su transporte fueron considerados y son apreciables. El desarrollo en mayor escala de la construcción con tierra en el país y en este caso en el Gran Buenos Aires, también bajarían los costos, debido a la mayor competencia y

racionalización de los procesos, los que reducirían el tiempo de construcción y aumentarían el rendimiento del mano de obra.

Tabla 6.7. Resumen de variaciones de costo según sistema constructivo.

Variante	Superficie	Costo	Costo total	Ocupación
constructiva	m ²	\$/m ²	\$	del suelo
Convencional	68,85	8597,43	591933	43,14 m ²
Adobe	82,36	7101,44	584875	47,96 m ²
BTC	81,89	6298,22	515761	47,72 m ²
Quincha	72,18	6522,75	470812	42,87 m ²
Tapia	80,76	6045,89	488266	47,16 m ²

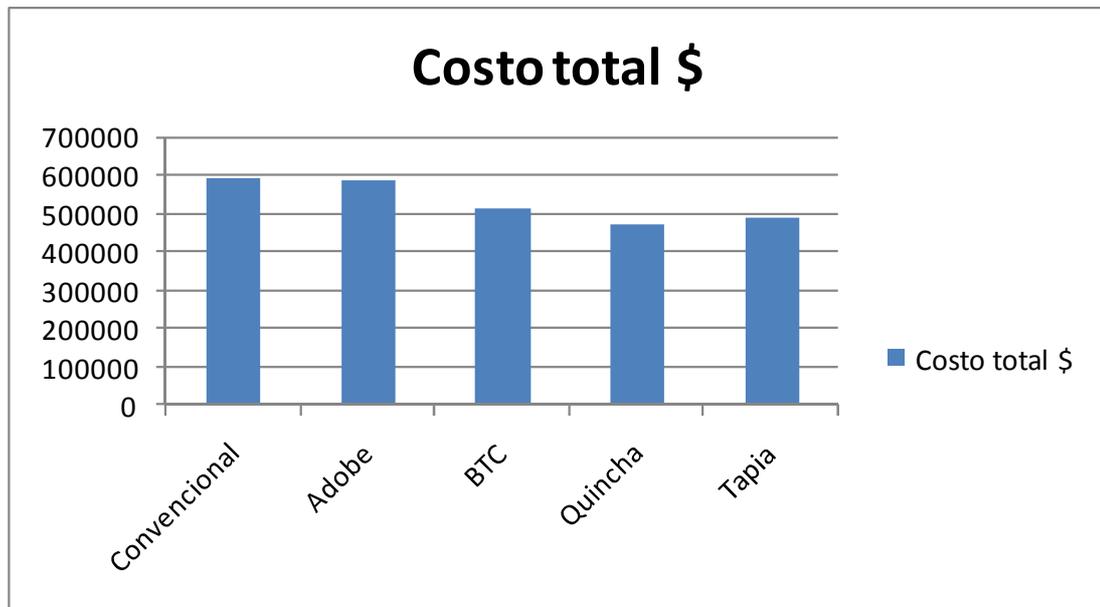


Figura 6.1. Gráfico de variación en costos

Sin embargo, cabe notar que el objeto de esta investigación no es reducir costos monetarios sino promover y cuantificar la reducción de energía incorporada en la misma, como queda demostrado en el capítulo anterior.

La investigación también tiene como objetivo el estudio del balance entre el costo y el contenido energético inicial y la demanda de energía y los consecuentes costos de energía durante la vida útil de la vivienda, que se presentará en el capítulo siguiente.

Capítulo 7.

Conclusiones

7.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta las conclusiones de la tesis, basado en el análisis de los resultados de los capítulos 3, 4, 5 y 6.

El análisis comparativo presenta el comportamiento térmico de los materiales de las viviendas, convencional y de tierra en sus distintas variantes y niveles de confort. También se presenta en función de la envolvente de las distintas viviendas analizadas, comparando la demanda de energía necesaria para calefaccionarlas en invierno. Se compara la energía incorporada en los materiales de todas las viviendas analizadas y por último se compara el presupuesto de todas las variantes constructivas, convencional y de tierra en los niveles A, B y C de la Norma IRAM 11.605 (1996)

A continuación se considera las situación de construcciones en otras zonas bioambientales como la zona V (IRAM) donde las temperaturas más bajas requieren incorporar mayor aislación, problema soluble en zonas rurales donde el incremento del espesor de muros, disponiendo de tierra apta para construir y aislación natural en el lugar, se resuelve ya que como vimos en el capítulo 5, el incremento de aislación natural altera mínimamente el incremento de energía incorporada.

En la zona bioambiental VI muy fría que abarca las provincias de Tierra del Fuego, Santa Cruz y zonas altas de toda la cordillera, la construcción con tierra no es recomendable, aunque algunos autores consideran a la construcción con fardos de pasto una técnica de construcción con tierra, pero si bien, por las características climáticas de esta zona, la técnica constructiva con fardos de pasto es recomendable, la tierra solo quedaría relegada a los revoques interiores.

En zonas bioambientales cálidas y muy cálidas como la I y II la técnica recomendable es la construcción con quincha, ya que es muy liviana, permite construcciones despegadas del suelo y ventilación cruzada no solo en sus ambientes sino también entre el piso natural y los techos. En la zona bioambiental II se hicieron estudios con buenos resultados con viviendas de adobe y quincha en alrededores de las ciudades de Paraná y Santa Fe, Argentina. (Patrone et-al 2013) También existen testigos y documentos en nuestra arquitectura vernácula (Urquijo et-al 1972)

También se recomienda profundizar la investigación sobre la técnica con fardos de pasto para zonas de clima frío, investigar la capacidad de las construcciones de tierra respecto a equilibrar la humedad relativa en su interior, investigar la razón del confort dentro de las construcciones de tierra en función de las radiaciones de esta sobre el hombre (Hauke Haupts 2012) y la profundización del

conocimiento racional del material tierra. Conocimientos que permitirán lograr mayor ahorro energético en estas construcciones.

7.2 - RESULTADOS Y FUNDAMENTOS DE LA HIPÓTESIS

En los capítulos 3 a 6 se demuestra los aportes que la construcción con tierra produce en el ahorro energético de la construcción.

En el capítulo 3 se observan las buenas características térmicas de la construcción con tierra que con el agregado de aislantes naturales cumple con la Ley 13059 de la Provincia de Buenos Aires que exige el nivel B de la Norma IRAM 11605. Pudiendo en el caso de la construcción con adobe alcanzar el nivel B de la Norma sin aislación pero con un espesor de muro de 45 cm, situación que en zonas rurales es normal.

También se alcanzan los niveles B y A de la Norma, incluyendo aislación natural entre dos estructuras de quincha sin alterar el espesor del muro.

En el capítulo 5 se demuestra numéricamente que las viviendas de tierra alcanzan los mismos niveles B y A de la Norma IRAM, solo con un 24 % a un 31%, de la energía incorporada necesaria para construir la vivienda convencional, resultado fundamental de esta tesis. Teniendo guarismos similares para alcanzar el nivel A de la Norma.

En el capítulo 4 se demuestra que, a través de la determinación del Coeficiente Volumétrico G de Perdidas de Calor, las cargas térmicas anuales requeridas para el acondicionamiento térmico de las viviendas, son similares tanto en aquellas construidas con tierra como en la vivienda convencional, en los niveles de confort A y B de la Norma, ya que los valores requeridos son los mismos en todas las variantes.

También se aprecia en el capítulo 6 que en general las viviendas de tierra son monetariamente más económicas, principalmente en zonas húmedas cálidas y templadas, donde exista abundancia de maderas o cañas.

Todos estos aportes se complementan entre sí, contribuyen a fundamentar el desarrollo de la tesis y demuestran la validez de la hipótesis.

7.3. RELEVANCIA DE LOS RESULTADOS

La reducción de energía en la construcción con tierra, está directamente relacionado con la baja energía incorporada de sus materiales y la materialización de la misma.

La tabla 7.1 indica que la construcción con BTC requiere 353 GJ menos que la convencional y que la de adobe requiere 389 GJ menos respecto a la convencional. Allí los resultados indican que se construyen entre tres y cuatro

viviendas de construcción con tierra en sus distintas alternativas con la misma energía necesaria para hacer una vivienda convencional.

La figura 7.1 indica que la energía incorporada se incrementa en forma similar en todas las variantes por tener similar calidad térmica y demanda anual de energía. La mantención de la construcción con tierra tendrá que ser más seguida que en la convencional, el incremento en la demanda de energía debido a este factor no es significativo, ya que si bien el mantenimiento es más asiduo los pequeños incrementos en el costo se compensaran al efectuarse el mantenimiento necesario en la vivienda de construcción convencional.

Tabla 7.1- Energía incorporada y energía en uso según año, en GJ

Tipo de construcción	Años										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Convencional	0	514	541	568	596	622	649	676	703	730	757
Adobe	0	125	153	181	209	237	265	295	321	349	377
BTC	0	161	189	217	245	273	301	329	357	385	413
Quincha	0	150	179	208	237	266	296	324	353	382	411
Tapia	0	156	184	212	240	268	296	324	352	380	408

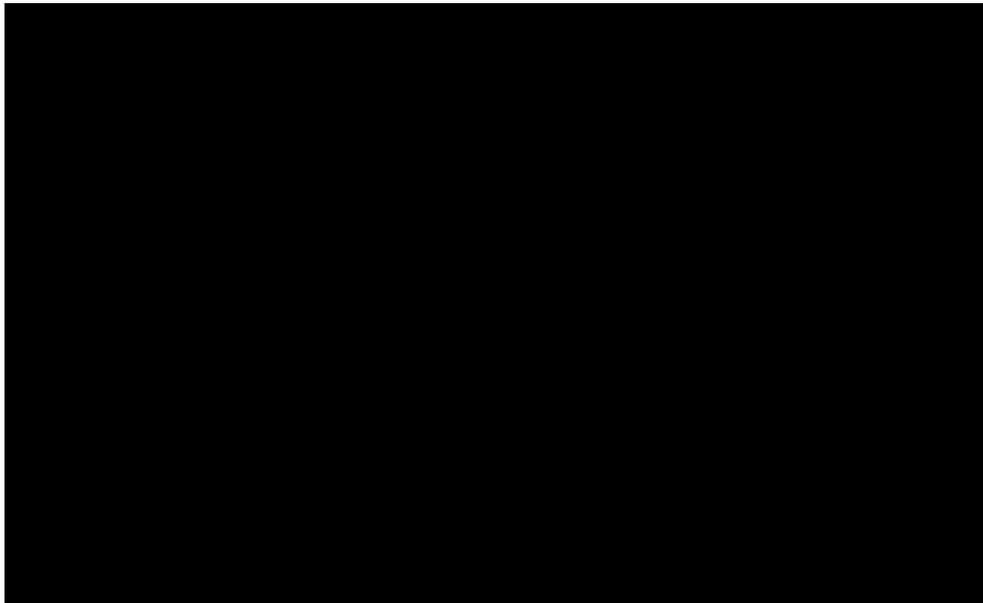


Figura 7.1. Demanda de energía para fabricación y uso de la vivienda según el número de años de uso, en GJ.

Tabla 7.2 y Figura 7.2 indican el consumo de energía incorporada en función de la cantidad de viviendas construidas, si bien el incremento de energía es proporcional a la cantidad de viviendas, en la Figura 7.2 se ve con claridad la

diferencia de energía consumida entre las viviendas de tierra y las convencionales.

Tabla 7.2 Resumen de la demanda de energía

Viviendas						
Convencional	514	5140	12850	25700	51400	102800
BTC	161	1610	4000	8050	16100	32200
Tapia	156	1560	3900	7800	15600	31200
Quincha	150	1500	3750	7500	15000	30000
Adobe	125	1250	3125	6250	12500	25000
Cantidad	1	10	25	50	100	200

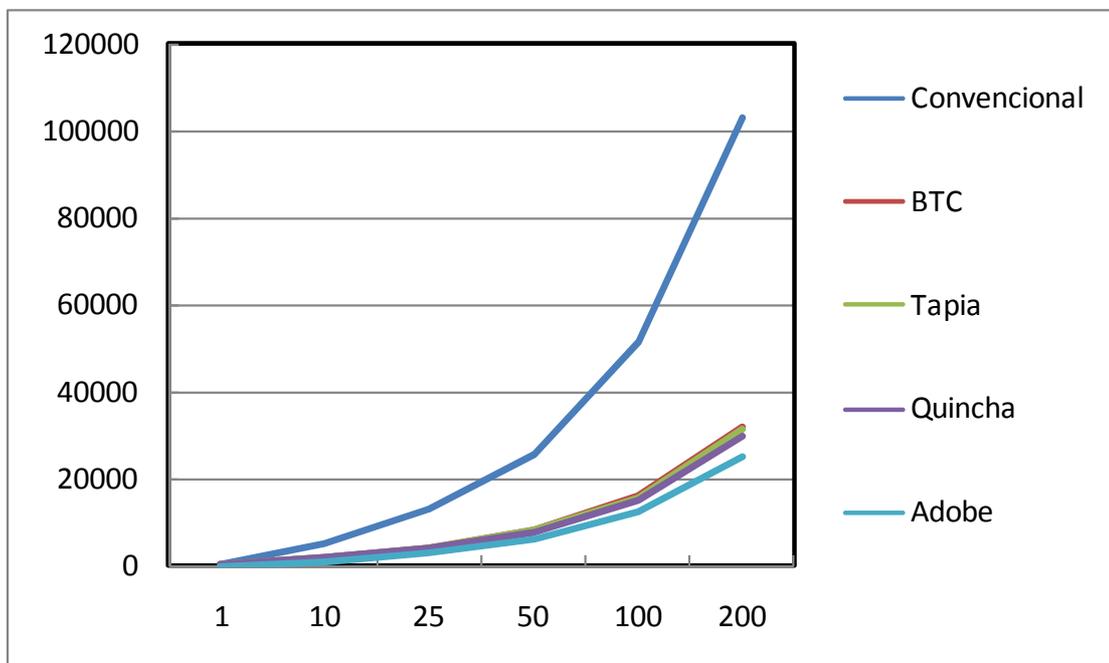


Figura 7.2

La Figura 7.2, permiten visualizar claramente la relevancia del ahorro energético de las construcciones de tierra, fundamentalmente si la misma se produce masivamente.

También la reducción del costo monetario, como se observa en el capítulo 6, que en algunos casos no es significativo, podrá reducirse significativamente con la inclusión de mecanización, industrialización (designboom (2014)) y fundamentalmente con la construcción en serie.

7.4. TRANSFERENCIA Y APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se propone las siguientes actividades de transferencia a fin de lograr una aplicación de las conclusiones de esa tesis y los consecuentes beneficios.

- Desarrollar tecnologías en Argentina y Sudamérica que nos equiparen con los países de Europa, Norte América y Oceanía.
- Optimizar la investigación científica tecnológica para aumentar las virtudes del material como su capacidad térmica, su bajo contenido energético y su versatilidad para regular la humedad relativa e incrementar la salud de sus ocupantes, incorporando industrialización, mecanización y nuevos estabilizantes que confieran al material una mayor resistencia a los efectos climáticos.
- Realizar y establecer normativas y desarrollar organismos de control de calidad del material tierra y sus procesos constructivos para lograr estándares que permitan equiparar y popularizar las construcciones de tierra con las convencionales.
- Incorporar mecanización e industrialización dentro de los procesos constructivos de tierra para reducir tiempos y costos monetarios que redunden en el incremento de estas construcciones que requieren bajos niveles de energía para su concreción.

Referencias

- Alderton, C. (2010) *Construcción con terrón en Uruguay* X Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, Salto, Uruguay.
- Bardou, P. y Arzoumanian, V. (1981) *Sol y Arquitectura* Gustavo Gill S. A. Barcelona, España.
- Bechis, N y Verzeñassi, D. (2004) *La arquitectura desde un enfoque ecologista, una visión integradora del hombre, el ambiente y la salud en el marco de la sustentabilidad* 3er Seminario Iberoamericano de Construcción con tierra, Tucumán, Argentina.
- Bestraten, S. et. al (2011) *Construcción con tierra en el siglo XXI* Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, 5-20, julio-septiembre 2011 ISSN: 0020-0883 Universitat Politècnica de Catalunya E.T.S.A.B, Barcelona, España
- Chauliaguet, Ch, Baratcabal, P. y Batellier, J. P. (1978) *La Energía Solar en la Edificación* Editores técnicos asociados, s. a. Barcelona, España.
- D'Andrea, S. Passone, H y Patrone, J. C. (2016) *Evaluación Ambiental de la Construcción con Tierra en la Vivienda Social* Construcción con Tierra 7, CIHE-FADU-UBA, Buenos Aires, Argentina
- del Río Muñoz, M., San José Alonso, J. I. y Jové Sandoval, F. (2015) *Análisis de la Repercusión de los Tratados y Manuales Históricos en España y Europa en el Estudio de la Técnica de La Tapia*. Construcción con Tierra Investigación y Documentación XI CIATTI 2014, ISBN: 978-84-606-9543-1 Cuenca de Campos, España.
- Evans, J. M. (2004) *Construcción en tierra, aporte a la habitabilidad*, 1er. Seminario Taller, Construcción en Tierra, CIHE-FADU-UBA, Buenos Aires, Argentina
- Evans, J. M. (2004) Clean Development Mechanism for Building: Potential in different regions of Argentina, Proceedings PLEA, Technical University of Eindhoven, Eindhoven.
- Fathy, H. (1969) *Architecture for the poor: an experiment in Rural Egypt*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Garzón (2012) *Casa Prior: Dos Casos de Construcción con Tierra como Material Sostenible*, Construcción con Tierra 5, CIHE IAA FADU UBA, Buenos Aires, Argentina
- Givoni B. (1976) *Man, Climate and Architecture*, Elsevier, London (2nd edition).
- González Blanco, Z (2011) *Construir con Tierra (2) Eficiencia Energética*
www.es.lowtechmagazine.com/2011/.../construir-con-tierra2-eficiencia-energetica.ht...

- González Licón, H. J. (2009) *El Desempeño Bioclimático de la Vivienda Tradicional de Tierra. Caso de Estudio: Región Purhépecha, en Michoacán, México*, VIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, Tucumán, Argentina
- Guillaud, H. (2011) *Domaine de la Terre in Villefontaine (Isère, Francia): balance of an exemplary experience* Informes de la Construcción julio-septiembre 2011 ISSN: 0020-0883
- Hammond, G y Jones, C. (2011) Inventory of Carbon & Energy (ICE). Version 2.0, Sustainable Energy Research Team (SERT). Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK. (disponible en <http://www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint-database.html>)
- designboom (2014) *Centro de hierbas Ricola en Laufen, Suiza (obra de Herzog y de Meuron)*
https://www.google.com.ar/search?q=Centro+de+hierbas+Ricola+en+Laufen%2C+Suiza&rlz=1C1AOHY_esAR708AR709&oq.
- IRAM (1970) Norma IRAM 11.605 Acondicionamiento térmico de edificios: transmitancia térmica de paredes y techos, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires.
- IRAM (1970) Norma IRAM 11549, Acondicionamiento térmico de edificios: definiciones, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires.
- IRAM (1971) IRAM Norma 11559 Método de ensayo: conductividad de los materiales de construcción mediante el aparato de placa caliente, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires.
- IRAM (1972) IRAM Norma 11564 Método de ensayo: transmitancia térmica de elementos de construcción mediante el aparato de la caja caliente, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires.
- IRAM (1978 a) Norma IRAM 11605, Acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad para verano, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires.
- IRAM (1980; revisado 1993), Norma IRAM 11.603, Acondicionamiento térmico de edificios, Clasificación Bioambiental de la Republica Argentina, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires.
- IRAM (1987), Norma IRAM 11.604, Acondicionamiento térmico de edificios. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Calculo y valores límites, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires.
- IRAM (1996) Norma IRAM 11.605, Acondicionamiento térmico de edificios: condiciones de habitabilidad en viviendas, valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos, Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires (reemplaza IRAM 11605:1980).
- IRAM (1998) Norma IRAM 11.603, Zonificación Bioambiental de la República Argentina, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.

- IRAM (2000) Norma IRAM 11625, Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires
- IRAM (2000) Norma IRAM 11630, Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en puntos singulares de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires
- IRAM (2001) Norma IRAM 11507- 4, Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Requisitos complementarios. Aislación térmica. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- IRAM (2001) Norma IRAM 11507-1, Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Requisitos básicos y clasificación. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- IRAM (2002) Norma IRAM 11549, Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- IRAM (2012) Norma IRAM 11.603 Zonificación bioambiental de la República Argentina, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- Izard, J. L. y Guyot, A. (1980) *Arquitectura Bioclimática*, Gustavo Gili S. A. Barcelona, España
- Mattone, R. (2007) *Investigación y formación para la evolución de las tradiciones. Los bloques perfilados para la autoconstrucción*, Arquitectura en Tierra, Pontificia Universidad Javeriana, Torino, Italia
- Merril A. F.(1949) *Casas de Tierra Apisonada y Suelo Cemento*, Windsor. Argentina.
- Michiaux, C. Perez, R. y Blasco Lucas, I. (2016) *Proyecto y Simulación Térmica-Energética para Vivienda de Construcción con Tierra en Zona Semi-Árida de Argentina*, Construcción con Tierra 7, CIHE-FADU-UBA, Buenos Aires, Argentina
- MINEM (2017) Balance Energética Nacional 2015, Ministerio de Energía y Minería, Buenos Aires
- Minke, G. (2001) *Manual de Construcción en Tierra*, Nordan Comunidad, Montevideo, Uruguay.
- Municipalidad de Vicente Lopez (2017) Código de la Edificación (Sección 5.4 De los Sistemas y Materiales de Construcción e Instalación, MVL, Vicente López.
- Olgay, V. (1998) *Arquitectura y Clima – Manual de diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas*, Gustavo Gili S. A. Barcelona, España
- Patrone J. C. (2010) *Transferencia tecnológica en Construcción con Tierra Cruda*, ión con Construcción con Tierra 4, CIHE-IAA-FADU-UBA, Buenos Aires, Argentina

- Patrone J. C. and Cabezón M, (2004) *Tierra Estabilizada Apisonada en el Gran Buenos Aires*, 1er. Seminario Taller, Construcción con Tierra, FADU UBA, Buenos Aires.
- Patrone J. C., (2005) *Gestión y Desarrollo en la Construcción de la Vivienda de Interés Social con empleo de suelo estabilizado*, Construcción con Tierra 1, FADU UBA, Buenos Aires.
- Patrone, J. C. et. Al (2009) *Comportamiento térmico de viviendas de suelo cemento compactado en dos climas distintos* VIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, Tucumán, Argentina.
- Patrone, J. C. et. Al (2013) *Evaluación de Desempeño Ambiental de Construcción con Tierra Mediante Simulaciones Calibradas* XIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, Valparaíso, Chile.
- Patrone, J. C. y Cabezón, M (2004) *Tierra estabilizada apisonada en el Gran Buenos Aires. Prototipo de vivienda de interés social en Florencio Varela.* - 1er. Seminario Taller Construcción con tierra CIHE FADU UBA ISSN 1668-7159 Buenos Aires, Argentina
- Patrone, J. C. y Evans, J. M. (2011) *Estudio Comparativo del desempeño Térmico en viviendas de suelo cemento y de materiales convencionales* Jornadas SI+amb FADU-UBA, Bs. As. Argentina
- Patrone, J. C. y Evans, J. M. (2012) *Auditorias Térmicas en Viviendas Construidas Con Tierra* Construcción con Tierra 5, CIHE IAA FADU UBA, Buenos Aires, Argentina
- Patrone, J. C. y Evans, J. M. (2012) *Rrespuesta ambiental de la Arquitectura de tierra en el espacio latinoamericano* Jornadas PRE- ALTEHA-FADU-UBA, Bs. As. Argentina.
- Ramírez, R. (1956) Máquina Colombiana diseñada en 1956 por Ing. chileno Raúl Ramírez (RAM) del CINVA-Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento (CINVA), Bogotá, Colombia.
- Rolón, G. Olivarez, J. Dorado,P. y Varela Freire, G. (2016) *Las Construcciones del Espacio Domiciliar y Peridomiciliar Rural como Factores de Riesgo de la Enfermedad de Chagas*, Construcción con Tierra 7, CIHE-FADU-UBA, Buenos Aires, Argentina
- Roux Gutierrez, R. S. (2009) *Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) En Zonas Húmedas* Plaza y Valdés, S. A. de C. V. Colonia San Rafael, México
- Roux Gutiérrez, R. S., Sánchez Medrano, M. T. y Lucero González, D. A. (2015) Estudio de la Conductividad térmica de revoques con tierra estabilizadas con cemento y cal. En Jiménez Jiménez J de J. et al. (2015) *El Diseño para la calidad de vida en el espacio habitable*, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca.

- Roux Gutiérrez, R. y Guerrero Baca, L. (2012) *Estudio Comparativo de Bloques de Tierra Comprimida Estabilizados con Cal y con Cemento*, Construcción con Tierra 5, CIHE-IAA-FADU-UBA, Buenos Aires, Argentina
- Sosa, M. (2007) *Identidad y Expresión Cultural. La Arquitectura y Tecnología en el Noroeste Argentina* Construcción con Tierra 3 CIHE-IAA-FADU-UBA, Buenos Aires, Argentina
- Vázquez Espí, M. (2001) *Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales*. Instituto Juan de Herrera. Madrid. España. ISSN: 1578-097X
- Viñuales, G (2012) *Puesta en Valor de la Construcción con Tierra- Reflexiones*, Construcción con Tierra 5, CIHE IAA FADU UBA, Buenos Aires, Argentina
- Yuste, B. (2014) *L'Elefant - Etiquetas: Tierra España*

Anexos

Anexo 1

Tablas de transmitancia térmica

En este anexo se presentan las tablas de transmitancia térmica utilizadas en los cálculos de esta tesis que no se incluyen en el desarrollo del capítulo 3

Índice de tablas:

Tabla 3.10 Muro convencional nivel A de la Norma IRAM

Tabla 3.11 Muro de adobe nivel A de la Norma IRAM

Tabla 3.12 Muro de BTC nivel C de la Norma IRAM

Tabla 3.13 Muro de BTC nivel A de la Norma IRAM

Tabla 3.14 Muro de quincha nivel C de la Norma IRAM

Tabla 3.15 Muro de quincha nivel A de la Norma IRAM

Tabla 3.16 Muro de Tapia nivel C de la Norma IRAM

Tabla 3.17 Techo convencional nivel C de la Norma IRAM

Tabla 3.18 Techo convencional nivel B de la Norma IRAM

Tabla 3.19 Techo convencional nivel A de la Norma IRAM

Tabla 3.20 Techo con aislamiento natural nivel C de la Norma IRAM

Tabla 3.21 Techo con aislamiento natural nivel B de la Norma IRAM

Tabla 3.22 Muro de quincha simple no cumple nivel C de la Norma IRAM

Tabla 3.23 Muro de adobe nivel B de la Norma IRAM sin aislación

A continuación se presentan las tablas.

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Adobe Nivel C			
ELEMENTO	Muro	Muro de adobe		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liv	0,01	0,5	0,02
Tierra	Adobe median	0,4	0,52	0,77
Tierra	Paja y barro liv	0,01	0,5	0,02
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,015	0,78	0,02
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,45	R total	1,02
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				0,98
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,00
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				17,5 °C

Tabla 3.10 Muro convencional nivel A de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO				
ELEMENTO	Muro	Muro de adobe		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	A Optimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liv	0,025	0,5	0,05
Madera / paja	Fardo de paja	0,09	0,045	2,00
Tierra	Adobe denso 1	0,3	0,64	0,47
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,02	0,78	0,03
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,45	R total	2,73
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				0,37
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				0,38
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				19,1 °C

Tabla 3.11 Muro de adobe nivel A de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Adobe Nivel C			
ELEMENTO	Muro	Muro de adobe		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m2.K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liv	0,01	0,5	0,02
Tierra	Adobe median	0,4	0,52	0,77
Tierra	Paja y barro liv	0,01	0,5	0,02
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,015	0,78	0,02
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,45	R total	1,02
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				0,98
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,00
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				17,5 °C

Tabla3.12 Muro de BTC nivel C de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa de Tierra			
ELEMENTO	Muro	Muro de BTC		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	#N/A		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	A Optimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m2.K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro	0,02	0,7	0,03
Madera / paja	Fardo de paja	0,1	0,045	2,22
Tierra	Suelo cem/BTC 1800	0,28	0,82	0,34
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,015	0,78	0,02
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,43	R total	2,80
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				0,36
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				0,38
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				19,1 °C

Tabla 3.13 Muro de BTC nivel A de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601	CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA			
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO				
ELEMENTO	Muro	Muro de quincha c/estructura		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	C Mínimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liviano	0,05	0,5	0,10
Cámara de aire	e= 50-100 mm con A	0,09	0	0,34
Tierra	Paja y barro liviano	0,05	0,5	0,10
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,015	0,78	0,02
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,22	R total	0,75
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				1,34
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,85
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				16,6 °C

Tabla 3.14 Muro de quincha nivel C de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601	CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA			
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Tierra			
ELEMENTO	Muro	Muro de quincha		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	A Optimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liviano	0,04	0,5	0,08
Madera / paja	Fardo de paja	0,12	0,045	2,67
Tierra	Paja y barro liviano	0,04	0,5	0,08
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,015	0,78	0,02
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,23	R total	3,03
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				0,33
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				0,38
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				19,2 °C

Tabla 3.15 Muro de quincha nivel A de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Tierra			
ELEMENTO	Muro	Muro de tapia		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	C Mínimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m2.K/W
Resistencia superficial exterior				
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liv	0,02	0,5	0,04
Tierra	Suelo cem/BT0	0,25	0,82	0,30
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,015	0,78	0,02
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				
0,13				
Espesor total, metros		0,3	R total	0,55
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				
1,81				
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				
1,85				
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				15,5 °C

Tabla 3.16 Muro de tapia nivel C de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO				
ELEMENTO	Techo	Cielorraso suspendido yeso		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Ascendente	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	C Mínimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m2.K/W
Resistencia superficial exterior				
0,04				
Metal	Acero	0,001	58	0,00
Cámara de aire	e = 20 mm	0,02	0	0,14
Lana de vidrio	d = 8-10	0,03	0,045	0,67
Plasticos	Polietileno baj	0,0002	0,35	0,00
Madera / paja	Pino normal	0,018	0,16	0,11
Cámara de aire	e = 50-100 mm	0,3	0	0,14
yeso	placa d = 120C	0,012	0,51	0,02
Resistencia superficial interior				
0,10				
Espesor total, metros		0,3812	R total	1,22
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				
0,82				
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				
1,00				
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				18,4 °C

Tabla 3.17 Techo convencional nivel C de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa convencional			
ELEMENTO	Techo	Chapa c-pendiente machimbre		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Ascendente	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m2.K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Metal	Acero	0,001	58	0,00
Cámara de aire	e = 20 mm	0,02	0	0,14
Lana de vidrio	d = 8-10	0,05	0,045	1,11
Plasticos	Polietileno alta	0,0002	0,5	0,00
Madera / paja	Pino normal	0,018	0,16	0,11
Cámara de aire		0,3	0	0,14
yeso	placa d = 1200	0,012	0,51	0,02
Resistencia superficial interior				0,10
Espesor total, metros		0,40	R total	1,67
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,60
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				0,83
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				18,8 °C

Tabla 3.18 Techo convencional nivel B de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa convencional Nivel A			
ELEMENTO	Techo			
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Ascendente	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	A Optimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m2.K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Metal	Acero	0,001	58	0,00
Cámara de aire	e = 20 mm	0,02	0	0,14
Lana de vidrio	d = 11-14	0,12	0,043	2,79
Plasticos	Polietileno baj	0,0002	0,35	0,00
Madera / paja	Pino normal	0,018	0,16	0,11
Cámara de aire	e = 50-100 mm	0,3	0	0,14
yeso	e = 10 mm	0,012	0,51	0,02
Resistencia superficial interior				0,10
Espesor total, metros		0,4712	R total	3,34
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,30
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				0,32
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				19,4 °C

Tabla 3.19 Techo convencional nivel A de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO				
ELEMENTO	Techo	Chapa c-pendiente		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Ascendente	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	C Mínimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Metal	Acero	0,001	58	0,00
Cámara de aire	e = 20 mm	0,015	0	0,14
Tierra	Paja y barro livi	0,03	0,48	0,06
Madera / paja	Fardo de paja	0,03	0,045	0,67
Plasticos	Polietileno alta	0,0002	0,5	0,00
Madera / paja	Pino normal	0,018	0,16	0,11
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,10
Espesor total, metros		0,09	R total	1,12
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,89
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,00
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				18,3 °C

Tabla 3.20 Techo con aislamiento natural nivel C de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO				
ELEMENTO	Techo	Chapa c-pendiente barro		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Ascendente	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	#N/A		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m ² .K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Metal	Acero	0,001	58	0,00
Cámara de aire	e = 5 mm	0,005	0	0,11
Tierra	Paja y barro livi	0,02	0,48	0,04
Madera / paja	Fardo de paja	0,05	0,045	1,11
Plasticos	Polietileno alta	0,002	0,5	0,00
Madera / paja	Pino normal	0,018	0,16	0,11
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,10
Espesor total, metros		0,10	R total	1,52
K' Transmitancia térmica del componente W/m ² K				0,66
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				0,83
Absorción radiación solar	Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				18,7 °C

Tabla 3.21 Techo con aislamiento natural nivel B de la Norma IRAM

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO				
ELEMENTO	Muro	Muro de quincha simple		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	C Mínimo	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m2.K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,02	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liviano	0,05	0,5	0,10
Madera / paja	madera dura	0,01	0,34	0,03
Tierra	Paja y barro liviano	0,05	0,5	0,10
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,02	0,78	0,03
Sin capa	-	0	0	0,00
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,15	R total	0,45
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				2,22
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,85
Absorción radiación solar Menor a 60%			No cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				14,4 °C

Tabla 3.22 Muro de quincha simple

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Casa Adobe Nivel C			
ELEMENTO	Muro	Muro de adobe		
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m.K	m2.K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra ext	0,015	0,82	0,02
Tierra	Paja y barro liv	0,01	0,5	0,02
Tierra	Adobe median	0,4	0,52	0,77
Tierra	Paja y barro liv	0,01	0,5	0,02
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,015	0,78	0,02
Resistencia superficial interior				0,13
Espesor total, metros		0,45	R total	1,02
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				0,98
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11605				1,00
Absorción radiación solar Menor a 60%			Cumple IRAM 11.605	
Con una temperatura interior de 20° C, la temperatura superficial interior es:				17,5 °C

Tabla 3.23 Muro de adobe sin aislación cumple con la Norma IRAM

Anexo 2

Tablas de pérdidas volumétricas

En este anexo se presentan las tablas de las pérdidas volumétricas utilizadas en los cálculos de esta tesis que no se incluyen en el desarrollo del capítulo 4

Índice de tablas:

Tabla 4.1 cálculo de “G”- Construcción convencional Nivel C Norma IRAM 11604

Tabla 4.3 cálculo de “G”- Construcción convencional Nivel A Norma IRAM 11604

Tabla 4.4 cálculo de “G”- Construcción de Adobe Nivel C Norma IRAM 11604

Tabla 4.5 cálculo de “G”- Construcción de Adobe Nivel B Norma IRAM 11604

Tabla 4.6 cálculo de “G”- Construcción de Adobe Nivel A Norma IRAM 11604

Tabla 4.7 cálculo de “G”- Construcción de Tapia Nivel C Norma IRAM 11604

Tabla 4.8 cálculo de “G”- Construcción de Tapia Nivel B Norma IRAM 11604

Tabla 4.9 cálculo de “G”- Construcción de Tapia Nivel A Norma IRAM 11604

Tabla 4.10 cálculo de “G”- Construcción de Quincha Nivel C Norma IRAM 11604

Tabla 4.11 cálculo de “G”- Construcción de Quincha Nivel B Norma IRAM 11604

Tabla 4.12 cálculo de “G”- Construcción de Quincha Nivel A Norma IRAM 11604

Tabla 4.13 cálculo de “G”- Construcción de BTC Nivel C Norma IRAM 11604

Tabla 4.14 cálculo de “G”- Construcción de BTC Nivel B Norma IRAM 11604

Tabla 4.15 cálculo de “G”- Construcción de BTC Nivel A Norma IRAM 11604

A continuación se presentan las tablas de pérdidas volumétricas

Tabla 4.3 cálculo de "G"- Construcción convencional Nivel A Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires convencional			
Envolvente		Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	29,19	2,7	2	157,626
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficie S m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,29	9,0828	
2 Muro	93,93	0,37	34,7541	
3 Piso en contacto con aire exterior	3,22	1	3,22	
4 Puertas	3,48	1,8	6,264	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
m2 Total		131,95	TOTAL	53,3209
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
2 Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
3 Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
4 Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
m2 Total		24,31	TOTAL	66,5549
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
8				0
m2 Total			TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,739
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN TOTAL				140,6148
PERDIDAS VOLUMETRICAS TOTAL / Vol				0,89
PERDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACION DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				1,59
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hora		13/03/2017 12:23

Tabla 4.4 cálculo de "G"- Construcción de Adobe Nivel C Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires			
Envolvente	Adobe - Nivel C	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies	Transmit K	S.K	
	m2	W/m2K	W/K	
1 Techo	31,32	0,89	27,8748	
2 Muro	93,93	1,19	111,7767	
3 Puertas	3,48	1,8	6,264	
4			0	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
m2 Total		128,73	TOTAL	145,92
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S	N	K	S.y.K
	m2		W/m2K	W/K
1 Vidrio simple + cortina de enrollar	5,54	4	4,435	98,2796
2 Vidrio simple	0,5	2	5,82	5,82
3 Vidrio simple	0,25	1	5,82	1,455
4 Vidrio simple	0,9	1	5,82	5,238
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
m2 Total		24,31	TOTAL	110,79
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S	N	K	S.y.K
	m2		W/m2K	W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
m2 Total			TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN			TOTAL	277,4471
PERDIDAS VOLUMETRICAS			TOTAL / Vol	1,66
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				2,36
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				No Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hor.		13/03/2017 13:00

Tabla 4.5 cálculo de "G"- Construcción de Adobe Nivel B Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires adobe			
Envolvente	Nivel B	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficie S m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
Techo	31,32	0,66	20,6712	
Muro	93,93	0,54	50,7222	
Puertas	3,48	1,8	6,264	
			0	
			0	
			0	
			0	
			0	
			0	
			0	
	m2 Total	128,73	TOTAL	77,66
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
-			0	0
-			0	0
-			0	0
-			0	0
	m2 Total	24,31	TOTAL	66,55
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
				0
				0
				0
				0
				0
				0
				0
				0
	m2 Total		TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN		TOTAL		164,9513
PERDIDAS VOLUMETRICAS		TOTAL / Vol		0,98
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				1,68
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hora		13/03/2017 17:57

Tabla 4.6 cálculo de "G"- Construcción de Adobe Nivel A Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires adobe			
Envolvente	Nivel A	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficie S	Transmit K	S.K	
	m2	W/m2K	W/K	
1 Techo	31,32	0,31	9,7092	
2 Muro	93,93	0,37	34,7541	
3 Puertas	3,48	1,8	6,264	
4			0	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
	m2 Total	128,73	TOTAL	50,73
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S	N	K	S.y.K
	m2		W/m2K	W/K
1 Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
2 Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
3 Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
4 Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
	m2 Total	24,31	TOTAL	66,55
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S	N	K	S.y.K
	m2		W/m2K	W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
	m2 Total		TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN			TOTAL	138,0212
PERDIDAS VOLUMETRICAS			TOTAL / Vol	0,82
PERDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				1,52
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hora		13/03/2017 18:08

Tabla 4.7 cálculo de "G"- Construcción de Tapia Nivel C Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires Tapia			
Envolvente	Nivel C	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,89	27,8748	
2 Muro	93,93	1,81	170,0133	
3 Puertas	3,48	1,8	6,264	
4			0	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
m2 Total		128,73	TOTAL	204,15
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio simple + cortina de enrollar	5,54	4	4,435	98,2796
2 Vidrio simple	0,5	2	5,82	5,82
3 Vidrio simple	0,25	1	5,82	1,455
4 Vidrio simple	0,9	1	5,82	5,238
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
m2 Total		24,31	TOTAL	110,79
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
m2 Total			TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISION				TOTAL
PERDIDAS VOLUMETRICAS				TOTAL / Vol
				335,6837
				2,00
PERDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				2,70
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				No Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hora:		14/03/2017 00:56

Tabla 4.8 cálculo de “G”- Construcción de Tapia Nivel B Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires Tapia			
Envolvente	Nivel B	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,66	20,6712	
2 Muro	93,93	0,59	55,4187	
3 Puertas	3,48	1,8	6,264	
4			0	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
m2 Total		128,73	TOTAL	82,35
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
2 Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
3 Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
4 Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
m2 Total		24,31	TOTAL	66,55
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
m2 Total			TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISION				TOTAL
PERDIDAS VOLUMETRICAS				TOTAL / Vol
				169,6478
				1,01
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				1,71
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hora		14/03/2017 01:16

Tabla 4.9 cálculo de "G"- Construcción de Tapia Nivel A Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires Tapia			
Envolvente	Nivel A		Grados Días	1139
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entresijos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,31	9,7092	
2 Muro	93,93	0,37	34,7541	
3 Piso en contacto con aire exterior	0	1	0	
4 Puertas	3,48	1,8	6,264	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
m2 Total		128,73	TOTAL	50,73
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
2 Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
3 Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
4 Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
m2 Total		24,31	TOTAL	66,55
OTROS CERRAMIENTOS (entresijos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
m2 Total			TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISION			TOTAL	138,0212
PERDIDAS VOLUMETRICAS			TOTAL / Vol	0,82
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				1,52
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hor:		14/03/2017 01:30

Tabla 4.10 cálculo de "G"- Construcción de Quincha Nivel C Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires			
Envolvente	Quincha - Nivel C	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,89	27,8748	
2 Muro	93,93	1,34	125,8662	
3 Puertas	3,48	1,8	6,264	
4			0	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
m2 Total		128,73	TOTAL	160,01
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio simple + cortina de enrollar	5,54	4	4,435	98,2796
2 Vidrio simple	0,5	2	5,82	5,82
3 Vidrio simple	0,25	1	5,82	1,455
4 Vidrio simple	0,9	1	5,82	5,238
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
m2 Total		24,31	TOTAL	110,79
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
m2 Total			TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN			TOTAL	291,5366
PERDIDAS VOLUMETRICAS			TOTAL / Vol	1,74
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				2,44
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				No Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hor:		13/03/2017 20:08

Tabla 4.11 cálculo de "G"- Construcción de Quincha Nivel B Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires			
Envolvente	Quincha - Nivel B	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,66	20,6712	
2 Muro	93,93	0,63	59,1759	
3 Puertas	3,48	1,8	6,264	
4			0	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
m2 Total		128,73	TOTAL	86,11
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
2 Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
3 Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
4 Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
m2 Total		24,31	TOTAL	66,55
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
m2 Total			TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN			TOTAL	173,405
PERDIDAS VOLUMETRICAS			TOTAL / Vol	1,03
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				1,73
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hora		13/03/2017 20:34

Tabla 4.12 cálculo de "G"- Construcción de Quincha Nivel A Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires			
Envolvente	Quincha - Nivel A	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,6
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,31	9,7092	
2 Muro	93,93	0,33	30,9969	
3 Puertas	3,48	1,8	6,264	
4			0	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
	m2 Total	128,73	TOTAL	46,97
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
2 Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
3 Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
4 Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
	m2 Total	24,31	TOTAL	66,55
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
8				0
	m2 Total		TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN			TOTAL	134,264
PERDIDAS VOLUMETRICAS			TOTAL / Vol	0,80
PERDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACION DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				1,50
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hor:		13/03/2017 20:41

Tabla 4.13 cálculo de "G"- Construcción de BTC Nivel C Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires			
Envolvente	BTC - Nivel C	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entresijos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,89	27,8748	
2 Muro	93,93	1,74	163,4382	
3 Piso en contacto con aire exterior	0	1	0	
4 Puertas	3,48	1,8	6,264	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
m2 Total		128,73	TOTAL	197,58
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio simple + cortina de enrollar	5,54	4	4,435	98,2796
2 Vidrio simple	0,5	2	5,82	5,82
3 Vidrio simple	0,25	1	5,82	1,455
4 Vidrio simple	0,9	1	5,82	5,238
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
m2 Total		24,31	TOTAL	110,79
OTROS CERRAMIENTOS (entresijos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
m2 Total			TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN			TOTAL	329,1086
PERDIDAS VOLUMETRICAS			TOTAL / Vol	1,96
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				2,66
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				No Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y ho		13/03/2017 18:57

Tabla 4.14 cálculo de "G"- Construcción de BTC Nivel B Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires			
Envolvente	BTC - Nivel B	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entresijos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,66	20,6712	
2 Muro	93,93	0,59	55,4187	
3 Puertas	3,48	1,8	6,264	
4			0	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
m2 Total		128,73	TOTAL	82,35
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
2 Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
3 Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
4 Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
m2 Total		24,31	TOTAL	66,55
OTROS CERRAMIENTOS (entresijos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
m2 Total			TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISION			TOTAL	169,6478
PERDIDAS VOLUMETRICAS			TOTAL / Vol	1,01
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				1,71
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hora		13/03/2017 19:34

Tabla 4.15 cálculo de "G"- Construcción de BTC Nivel A Norma IRAM 11604

Planilla de Calculo		Norma IRAM 11.604		
Edificio	Buenos Aires			
Envolvente	BTC - Nivel A	Grados Días	1139	
Superficie y volumen calefacionada	Sup piso m ²	Altura, m	Plantas	Volumen
	31,03	2,7	2	167,56
CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES (muros, techos, entrepisos sobre espacios exteriores)				
Elemento	Superficies m2	Transmit K W/m2K	S.K W/K	
1 Techo	31,32	0,31	9,7092	
2 Muro	93,93	0,36	33,8148	
3 Piso en contacto con aire exterior	0	1	0	
4 Puertas	3,48	1,8	6,264	
5			0	
6			0	
7			0	
8			0	
	m2 Total	128,73	TOTAL	49,79
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES (ventanas)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1 Vidrio doble + cortina de enrollar	5,54	4	2,69	59,6104
2 Vidrio doble	0,5	2	3,23	3,23
3 Vidrio doble	0,25	1	3,23	0,8075
4 Vidrio doble	0,9	1	3,23	2,907
5 -			0	0
6 -			0	0
7 -			0	0
8 -			0	0
	m2 Total	24,31	TOTAL	66,55
OTROS CERRAMIENTOS (entrepisos s/sotanos, muros que separan de locales no calefacionados)				
Elemento	S m2	N	K W/m2K	S.y.K W/K
1				0
2				0
3				0
4				0
5				0
6				0
7				0
	m2 Total		TOTAL	0
PISO EN CONTACTO CON EL TERRENO				
Zona Bioambiental III	Templado	Perimetro	Pp	Perdida P
Tipo de aislación	Todo	22,3	0,93	20,74
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN			TOTAL	137,0819
PERDIDAS VOLUMETRICAS			TOTAL / Vol	0,82
PÉRDIDAS VOLUMÉMICAS POR INFILTRACIÓN DE AIRE			n	Perdida n
			2	0,7
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (según cálculo)				1,52
PERDIDA VOLUMETICA GLOBAL (máximo admisible)				1,96
CUMPLIMIENTO Norma IRAM 11.604				Cumple
Basado en Tabla C1, Anexo C, Norma IRAM 11.604.		Fecha y hor.		13/03/2017 19:49

ANEXO 3

Planos

En este anexo se presentan los planos utilizados en los cálculos de esta tesis que no se incluyen en el desarrollo del capítulo 3.

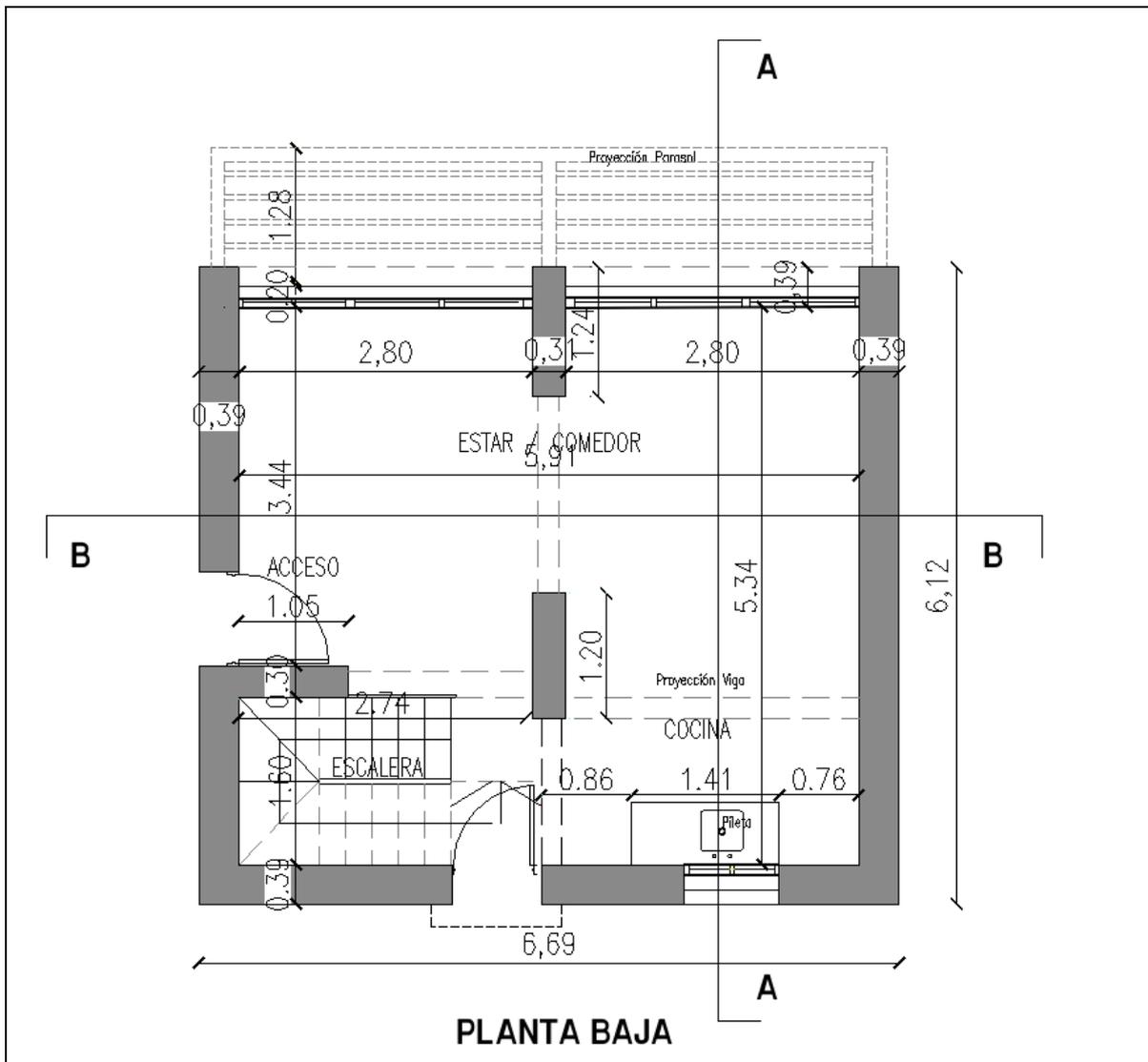


Figura 3.5 Planta Baja de la vivienda de BTC

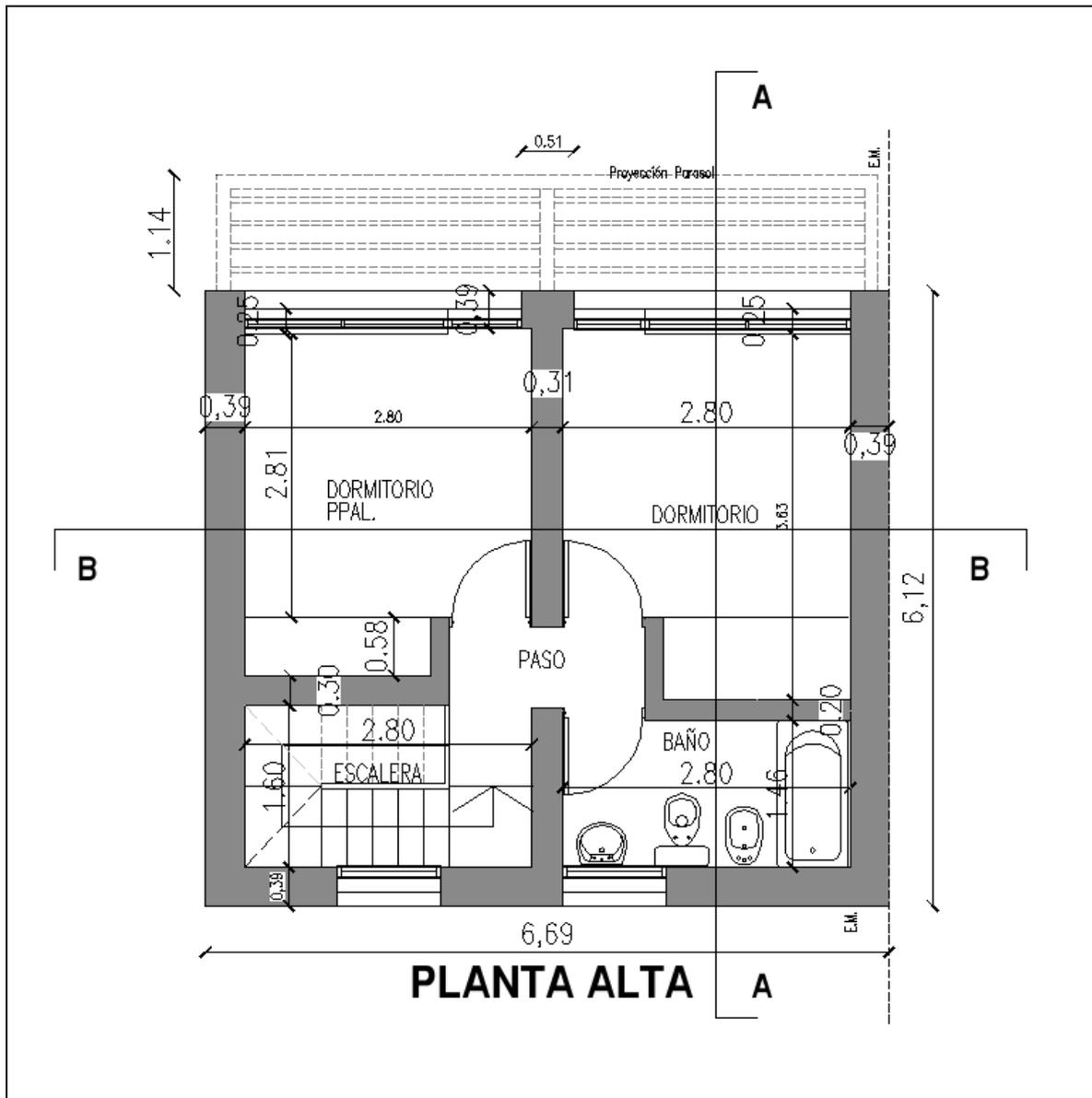


Figura 3.6 Planta Alta de la vivienda de BTC

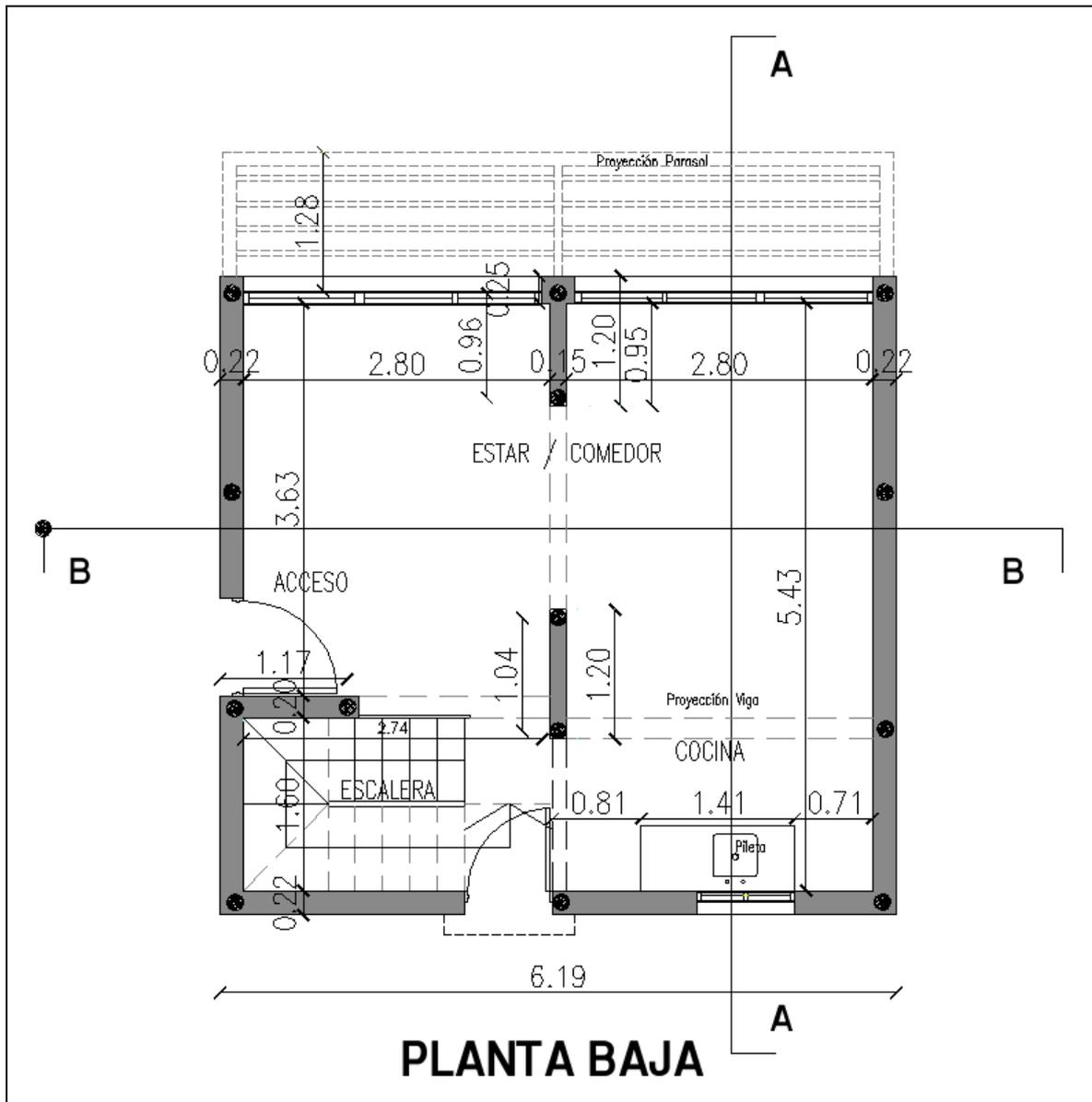


Figura 3.7 Planta Baja de la vivienda de quincha

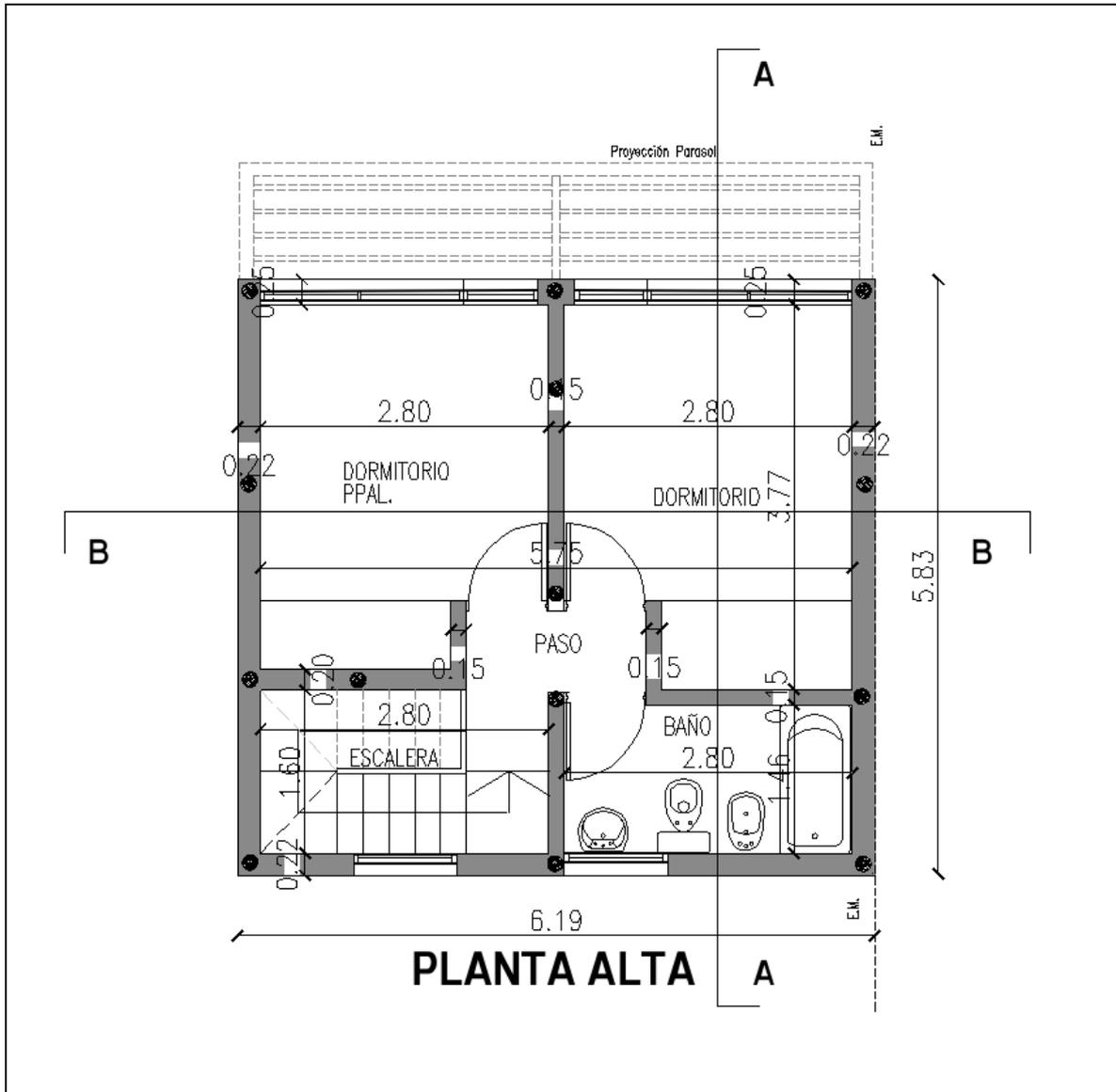


Figura 3.8 Planta Alta de la vivienda de quincha

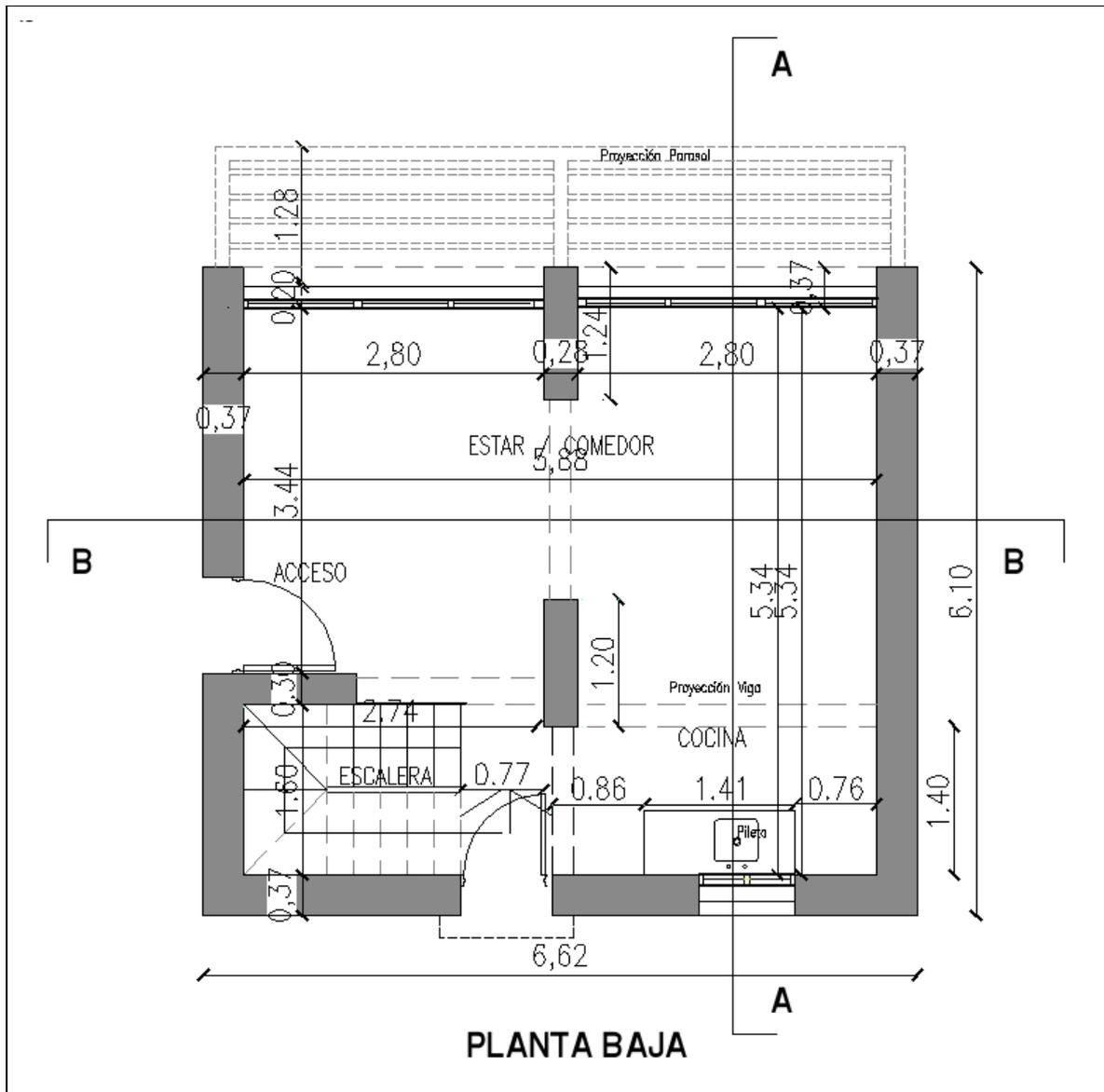


Figura 3. 9 Planta Baja de la vivienda de tapia

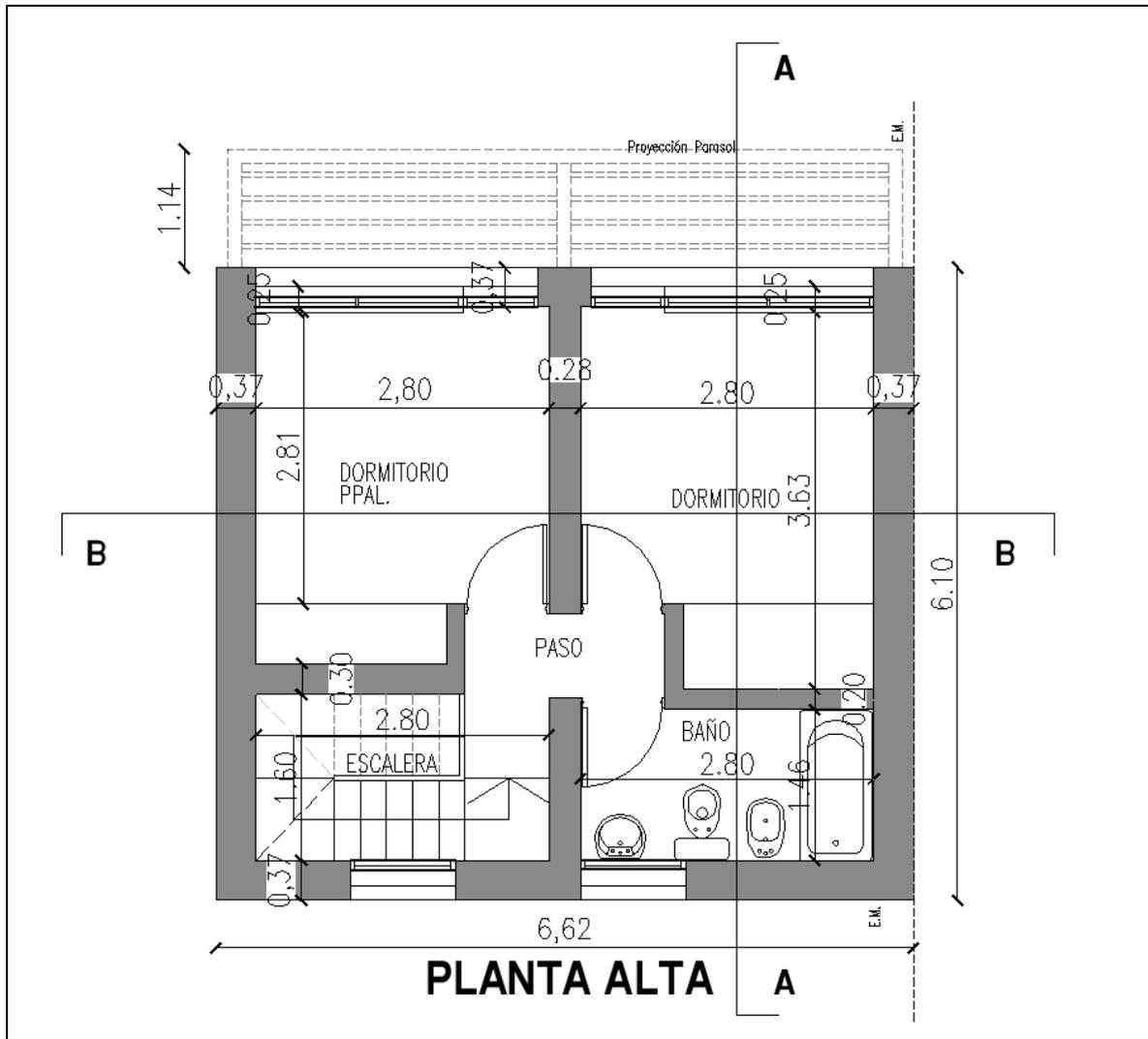


Figura 3. 10 Planta Alta de la vivienda de tapia

Anexo 4

Cálculos métricos de las viviendas

En este anexo se presentan los cálculos utilizados en los cálculos de esta tesis que no se incluyen en el desarrollo de los capítulos 3, 4, 5 y 6.

Viv. Adobe		Nivel B										
Elemento	Nº	Dimensión			Kg/m³	Kg/m³	Cantidad			Parciales		
		Largo	Ancho	Espesor			ml	m²	m³	m²	m³	Kg
Hº Aº												
Encadenado inf	3	6	0,30	0,20	2400	2570			1,07			
	6	2,83	0,30	0,20	2400	2445			1,02		2,09	5016
Encadenado sup	3	5,3	0,20	0,15	2400	1151			0,48			
	3	6,50	0,20	0,15	2400	1404			0,59		1,06	2555
Capa compresión	1	6,3	5,9	0,05	2400	4496			1,87			
Losa escalera	1	3,2	1,60	0,15	2400	1837,4			0,77			
Vigas y dinteles	3	5,9	0,20	0,30	2400	2553			1,06			
	3	5,9	0,20	0,20	2400	1711			0,71		1,78	4264
Viguetas vibradas - ml	7	6	0,1	0,09	2500	756,0	42		0,30			
	3	3	0,1	0,09	2500	162,0	9		0,06		0,37	918
Losas Poliest. Expand. MI	17	2,9	0,4	0,12	25	55,23	48,5		2,21			
Azotado cementicio	1	5,7	5,3	0,005	2100	318,27		30,31	0,15			
Cielorraso yeso apl.	1	5,7	5,3	0,02	1400	848,73		30,31	0,61			
Mampostería de Adobe												
0,30	2	5,91	5,92	0,30	1600	33588		69,97	20,99			
0,30	1	6,54	5,92	0,30	1600	18584		38,72	11,62			
0,30	1	3,46	2,8	0,30	1600	4567		9,52	2,85		137,89	
0,30	1	6,56	3,00	0,30	1600	9446		19,68	5,90	137,89	41,37	66185
0,15	1	2,90	3,00	0,15	1600	2088		8,70	1,31			
Fardo de paja	2	6,03	5,92	0,05	90	321,3		71,40	3,57	110,1		
	1	6,54	5,92	0,05	90	174		38,72	1,94		5,51	495,5
Varillas de madera	25	18,8	0,38	0,012	450	964	470	178,60	2,14			
Barro y Paja	2	6,03	5,92	0,025	1300	2320		71,40	1,78			
	1	6,54	5,92	0,025	1300	1258		38,72	0,97		2,753	3579
Revoque cal y tierra ext.	1	18,8	5,92	0,015	1800	3005		111,30	1,67			
Revoque cal y tierra int.	1	28,9	5,72	0,02	1600	5290		165,31	3,31			
	1	22,5	2,75	0,02	1600	1980		61,88	1,24			
	1	22,4	3,00	0,02	1600	2152		67,26	1,35	294,4	5,89	9422
Zocalo cementicio	1	18,8	0,60	0,015	2000	338		11,28	0,17			
Azulejos	2	3,86	2,05	0,004	2400	151,9		15,83	0,06			178,7
	1	5,43	2,05	0,004	2400	106,9		11,13	0,04	26,96	0,11	

Viv. Adobe		Nivel B										
Elemento	Nº	Dimensión			Kg/m²	Kg/m³	Cantidad			Parciales		
		Largo	Ancho	Espeso			ml	m²	m³	m²	m³	Kg
Pisos												
Polietileno 200 mic.	1	6,80	6,20	2E-04	920	7,76		42,16	0,01			
Fardo de paja	1	5,34	5,92	0,05	90	142		31,61	1,58			
Contrapiso cascotes	1	5,34	5,92	0,12	1800	6828		31,61	3,79			
Piso cemento alisado	1	5,92	5,34	0,02	2100	1328		31,61	0,63			
	1	5,92	5,34	0,02	2100	1328		31,61	0,63	63,23	1,26	2655
Carpintería												
Cortina de enrollar PVC	4	2,75	2,07	0,005	900	102,5		22,77	0,114			
Puerta balcon	4	2,75	2,05			21,40		22,55				
Ventana cocina	1	0,90	1,00			8,26						
Ventana escalera	1	1,00	0,50			5,16						
Ventana paso	1	0,50	0,50			3,44						38,26
Puerta entrada madera	1	0,90	2,05	0,028	700			1,845	0,052			
Puerta de madera	3	0,80	2,05	0,018	510	45,17		4,92	0,089			
Vidrio doble	4	2,75	2,05	0,008	2500	451,0		22,55	0,18			
	3	1,00	0,48	0,008	2500	28,80		1,44	0,01			
	1	1,00	0,90	0,008	2500	18,00		0,90	0,007	24,89	0,20	497,8
Vidrio simple	2	0,80	0,45	0,003	2500	5,40		0,72	0,002			
Techo												
Chapa galv. BWG 25	9	8,58	1,10	5E-04	7800	331,3		84,94	0,042			
Cumbrera BWG 25	9	1,22	0,50	5E-04	7800	21,41	10,98	5,49	0,003		0,05	352,68
Barro y paja	1	7,50	7,15	0,02	1300	1394		53,63	1,073			
Fardo de paja	1	7,50	7,15	0,05	90	241,3		53,63	2,68			
Clavadera	10	8,58	0,05	0,075	450	144,8	85,8		0,32			
Polietileno 200 mic.	1	8,30	8,60	2E-04	920	13,13		71,38	0,014			
Machimbre 3/4	64	8,52	0,15	0,018	450	662,5		81,79	1,47			
Tiranería 3x6	13	8,26	0,15	0,075	700	845,6	107,4		1,21			
	3	8,54	0,15	0,075	700	201,8	25,6		0,29		1,50	133 ml
Pintura Ext. Cal + Imper.	3	14,1	5,92	1E-04				249,53				
Pintura interior a la Cal	2	28,9	5,92	1E-04				342,18				

Viv. BTC Nivel B											
Elemento	Nº	Dimensión			P.E.	Cantidad			Parciales		
		Largo	Ancho	Espesor	Kg/m³	Kg/m³	ml	m²	m³	m³	Kg
Hº Aº											
Encadenado inf	3	5,95	0,28	0,20	2400	2399,04			1,00		
	3	5,66	0,28	0,20	2400	2282,11			0,95	1,95	4681,15
Encadenado sup	3	5,33	0,20	0,15	2400	1151,28			0,48		
	3	6,50	0,20	0,15	2400	1404,00			0,59	1,06	2555,28
Capa compresión	1	5,91	5,34	0,05	2400	3787,13			1,58		
Losa escalera	1	3,19	1,60	0,15	2400	1837,44			0,77		
Vigas y dinteles	3	5,94	0,20	0,30	2400	2566,08			1,07		
	3	5,37	0,20	0,20	2400	1546,56			0,64	1,71	4112,64
Viguetas vibradas - ml	7	6,14	0,08	0,09	2500	773,64	42,98		0,309		
	3	3,05	0,08	0,09	2500	164,70	9,15		0,066	0,375	938,34
Losas Poliest. Expand. MI	17	2,83	0,38	0,12	25	54,85	48,11		2,194		
Azotado cementicio	1	5,91	5,34	0,005	2100	331,37		31,56	0,158		
Cielorraso yeso apl.	1	5,91	5,34	0,02	1400	883,66		31,56	0,631		
Mampostería de BTC											
0,29	2	5,95	5,92	0,29	2000	40859,8		70,45	20,43		
	1	6,52	5,92	0,29	2000	22387,1		38,60	11,19		
	1	3,49	2,75	0,29	2000	5566,55		9,60	2,78		
	1	6,52	3,00	0,29	2000	11344,8		19,56	5,67	40,08	80158,26
0,14	1	2,90	3,00	0,15	2000	2610,0		8,70	1,31	1,31	2610,00
Fardo de paja	2	6,05	5,92	0,05	90	322,34		71,63	3,58		
	1	6,62	5,92	0,05	90	176,36		39,19	1,96	5,541	498,70
Varillas de madera	25	18,60	0,38	0,012	450	954,18	465	176,7	2,12		
Barro y Paja	2	6,05	5,92	0,02	1300	1862,4		71,63	1,43		
	1	6,62	5,92	0,02	1300	1019		39,19	0,78	2,216	2881,38
Revoque cal y tierra ext.	1	20,2	5,92	0,015	1800	3232		119,70	1,80		
Revoque cal y tierra int.	1	21,5	2,60	0,02	1600	1786,3		55,8	1,12		
	1	39,1	3,00	0,02	1600	3752,6		117,3	2,35	3,462	5538,94
Zócalo cementicio	1	20,2	0,6	0,015	2000	363,96		12,13	0,182		
Azulejos	2	3,86	2,05	0,004	2400	151,93		15,83	0,06		
	1	5,43	2,05	0,004	2400	106,86		11,13	0,04	0,108	26,96 m²

Viv. BTC		Nivel B									
Elemento	Nº	Dimensión			P.E.	Cantidad			Parciales		
		Largo	Ancho	Espesor	Kg/m³	Kg/m³	ml	m²	m³	m³	Kg
Pisos											
Polietileno 200 mic.	1	6,80	6,40	0,0002	920	8,01		43,52	0,01		
Fardo de paja	1	5,34	5,91	0,05	90	142,02		31,56	1,58		
Contrapiso cascotes	1	5,34	5,91	0,12	1800	6816,8		31,56	3,787		
Piso cemento alisado	2	5,34	5,91	0,02	2100	2651		63,12	1,26		
Carpintería											
Cortina de enrollar PVC	4	2,77	2,07	0,01	900	103,21		22,94	0,11		
Puerta balcon Aluminio	4	2,79	2,05		2700	21,40					
Ventana cocina Aluminio	1	0,90	1,00		2700	8,26					
Ventana escalera Aluminio	1	1,00	0,50		2700	5,16					
Ventana paso Aluminio	1	0,50	0,50		2700	3,44			0,02	0,02	38,26
Puerta de madera	3	0,80	2,05	0,02	510	37,64		4,92	0,07	0,07	
Puerta entrada madera	1	0,90	2,05	0,03	700	14,97		1,845	0,05		
Vidrio doble	4	2,75	2,05	0,01	2500	451,00		22,55	0,18	0,18	
	3	1,00	0,48	0,01	2500	28,80		1,44	0,01	0,01	
	1	1,00	0,90	0,01	2500	18,00	24,89	0,90	0,01	0,20	497,80
Vidrio simple	2	0,80	0,45	0,003	2500	5,40		0,72	0,00	0,00	
Techo											
Chapa galv. BWG 25	9	8,58	1,10	0,0005	7800	331,27		84,94	0,04		
Cumbrera BWG 25	9	1,22	0,5	0,0005	7800	21,41	10,98	5,49	0,00	0,05	352,68
Barro y Paja	1	7,50	7,15	0,02	1300	1394,25			1,07		
Fardo de paja	1	7,50	7,15	0,05	90	241,31		53,63	2,68		
Clavadera	10	8,58	0,05	0,08	450	144,79			0,32		
Polietileno 200 mic.	1	8,30	8,60	0,0002	920	13,13		71,38	0,01		
Machimbre 3/4	64	8,52	0,15	0,02	450	662,52		81,79	1,47		
Tirantería 3x6	13	8,26	0,15	0,08	700	845,62	107,4		1,21		
	3	8,54	0,15	0,075	700	201,76	25,62		0,29	1,50	133 ml
Pintura Ext. Cal + Impermi.	3	19,0	6,10					347,0			
Pintura interior a la Cal	2	28,9	5,92					342,2			

Quincha												
	Nº	Dimensión				Peso	Cantidad				Cant.	Total
		Largo	Ancho	Espesor		Espe.	Kg/m³	m²	m³	m³	Kg/m³	
		m	m	m	¶	Kg/m³						
Hº Aº												
Encadenado inf	3	6,19	0,15	0,25		2400	1671,30	2,79	0,70			
	3	5,23	0,15	0,25		2400	1412,10	2,35	0,59	1,28	3083,4	
Capa aisladora	3	11,4	0,75	0,02		2100	1079,19	25,7	0,51			
Estructura de Madera												
Columna Eucalipto	5	6,30	0,09	0,09	3,14	700	560,82		0,80			
	6	5,90	0,09	0,09	3,14	700	630,25		0,90			
	3	5,60	0,09	0,09	3,14	700	299,10		0,43	2,129	1490	
Solera Incienso	1	4,75	0,10	0,10		980	46,55	0,48	0,05			
	3	1,00	0,10	0,10		980	29,4	0,30	0,03			
	1	4,96	0,10	0,10		980	48,61		0,05			
	1	5,65	0,10	0,10		980	55,37		0,06	0,184	179,93	
Vigas Eucalipto	3	8,54	0,08	0,08	3,14	700	316,76		0,45			
	4	5,76	0,08	0,08	3,14	700	284,86		0,41			
	4	8,20	0,08	0,08	3,14	700	405,53		0,58			
	3	3,00	0,08	0,08	3,14	700	111,27		0,16			
	3	5,26	0,08	0,08	3,14	700	195,10		0,28	1,876	1313,52	
Tirantería entrepiso	6	5,75	0,08	0,15		700	271,69	2,59	0,39			
	3	2,95	0,08	0,15		700	69,69		0,10	0,488		
Machimbre entrepiso	53	5,73	0,10	0,025		700	531,46	30,37	0,76			
Tirantería techo	15	5,25	0,05	0,15		700	413,44	3,94	0,59			
	15	2,88	0,05	0,15		700	226,80	2,16	0,32	0,91	640,24	
Machimbre techo	62	8,19	0,15	0,018		450	617	76,17	1,37			
Clavadera	9	8,56	0,08	0,05		450	130,01	5,78	0,289			
Tirantería muros	18	5,80	0,10	0,05		700	365	10,44	0,52			
	11	2,80	0,10	0,025		700	2156	3,08	0,08	0,60		
Varas de osamenta	440	6,00	0,03	0,018		450	534,6		1,19			
Escalera												
Pedadas	16	0,80	0,27	0,035		980	118,54	3,46	0,12			
	8	1,10	0,27	0,035		980	81,50	2,38	0,08	0,204	200,04	
Tirantes	4	3,40	0,15	0,025		700	35,70	5,83	0,05			
Acero p/estructura						150			0,02			
Techo												
Chapa Galv. BWG 25	9	5,33	1,10	0,001		7800	411,58	52,77	0,05			
	9	2,79	1,10	0,001		7800	215,44	27,62	0,03			
Cumbrera	6	1,22	0,50	0,001		7800	28,55		0,004	0,084	655,57	
Paja y barro	1	8,30	8,50	0,02		1300	1834,3		1,41			
Fardo de paja	1	8,30	8,50	0,05		90	317,48		3,53			
Polietileno 200 µ	1	8,30	8,50	2E-04		920	12,98	70,55	0,01			

Quincha											
	Nº	Dimensión				Peso	Cantidad			Cant.	Total
		Largo	Ancho	Espesor		Espe.	Kg/m³	m²	m³	m³	Kg/m³
		m	m	m	¶	Kg/m³					
Muros											
Zócalo cal reforzada	1	17,85	0,70	0,01		1900	237,41	12,5	0,12		
Cal y tierra ext.	1	17,85	5,90	0,025		1800	4739,18	105,3	2,63		
Paja y barro	1	17,85	5,90	0,06		1300	8214,57	105,3	6,32		
Fardo de paja	1	17,85	5,90	0,05		90	473,92	105,3	5,27		
Paja y barro	1	23,00	2,70	0,06		1300	4843,80	62,1	3,73		
Paja y barro	1	37,41	3,04	0,06		1300	8870,66	113,7	6,82	10,55	13714,5
Cal y tierra int.	1	23,00	2,70	0,025		1600	2484,0	62,1	1,55		
	1	37,41	3,04	0,025		1600	4549,06	113,7	2,84	4,40	7033,06
Azulejos											
	1	7,70	2,05	0,04		2400	1515,36	15,79	0,63		
	1	4,40	1,8	0,04	23,7	2400	760,32	7,92	0,32	0,95	2275,68
Pisos											
Contrapiso cascotes	1	5,43	5,75	0,15		1800	8430,08	31,22	4,68		
Piso cemento alisado	1	5,43	5,75	0,03		2100	1967,02	31,22	0,94		
Fardo de paja	1	5,43	5,75	0,03		90	84,30	31,22	0,94		
Polietileno 200 micras	1	6,00	6,2	2E-04		920	6,84	37,20	0,01		
Cortina de enrollar PVC	4	2,77	2,07	0,005		900	103,21	22,94	0,11		
Carpintería											
Puerta balcon	4	2,79	2,05			2700	21,40	22,88			
Ventana cocina	1	0,90	1,00			2700	8,26	0,90			
Ventana escalera	1	1,00	0,50			2700	5,16	0,50			
Ventana paso	1	0,5	0,50			2700	3,44	0,25			38,26
Puerta entrada madera	1	0,90	2,05	0,028		700	36,16		0,052		
Puerta de madera	3	0,8	2,05	0,015		510	37,64	4,92	0,07		
Vidrio simple	2	0,8	0,45	0,003		2500	5,40	0,72	0,002		
Vidrio doble	4	2,75	2,05	0,008		2500	451,0	22,55	0,18		
	3	1,00	0,48	0,008		2500	28,8	1,44	0,01		
	1	1,00	0,90	0,008		2500	18,0	0,9	0,01	0,20	
Pintura cal Ext. + Imp.	3	17,85	6,10					326,7			
Pintura a la cal Interior	2	27,3	5,92					322,8			

Viv. Tapia		Nivel B									
Elemento	Nº	Dimensión			Kg/m³	Cantidad				Parciales	
		Largo	Ancho	Espesor		Kg	ml	m2	m3	m3	Kg
Hº Aº											
Encadenado inf	3	5,9	0,28	0,20	2400	2378,9			0,99		
	3	5,60	0,28	0,20	2400	2257,9			0,94	1,93	4636,8
Encadenado sup	3	5,33	0,20	0,15	2400	1151,3			0,48		
	3	5,60	0,20	0,15	2400	1209,6			0,50	0,98	2360,9
Capa compresión	1	6,14	4,4	0,05	2400	3249,3			1,354		
Losa escalera	1	3,19	1,60	0,15	2400	1837,4			0,77		
Vigas y dinteles	6	2,80	0,20	0,30	2400	2419,2			1,01		
	3	5,90	0,20	0,20	2400	1699,2			0,71	1,72	4118,4
Viguetas vibradas - ml	7	6,08	0,08	0,09	2500	766,1	42		0,31		
	3	3,00	0,08	0,09	2500	162,0	9		0,06	0,37	928,1
Losas Poliest. Expand. m	17	2,80	0,38	0,12	25	54,3	47,6		2,17		
Azotado cementicio	1	5,88	5,34	0,005	2100	329,69		31,4	0,16		
Cielorraso yeso apl.	1	5,88	5,34	0,02	1400	879,18		31,4	0,63		
Tapia monolítica											
0,28	2	5,9	5,62	0,28	2000	37137		66,32	18,57		
	1	6,44	5,62	0,28	2000	20268		36,19	10,13		
	1	3,40	2,40	0,28	2000	4569,6		8,16	2,28		
	1	5,34	2,80	0,28	2000	8373,1		14,95	4,19	35,17	70347,6
0,15	1	2,90	3,00	0,15	2000	2610,0		8,70	1,31		
Suelo seleccionado					1800				38,00	50	Esponj.
Fardo de paja	2	5,9	5,62	0,05	90	298,4		66,32	3,32		
	1	6,44	5,62	0,05	90	162,9		36,19	1,81	5,13	461,3
Varillas de madera	25	18,60	0,38	0,012	450	954,2		176,70	2,12		
Barro y Paja	2	5,9	5,92	0,025	1300	2270,3		69,86	1,75		
	1	6,44	5,92	0,025	1300	1239,1		38,12	0,95	2,70	3509,38
Revoque cal y tierra ext.	1	18,24	5,92	0,015	1800	2915,5		107,98	1,62	1,62	2915,5
Zocalo cementicio	1	18,24	0,6	0,015	2000	328,32		10,94	0,1642		
Azulejos	2	3,86	2,05	0,004	2400	151,93		15,83	0,06		
	1	5,43	2,05	0,004	2400	106,86		11,13	0,04	26,96	
Pisos											
Polietileno 200 mic.	1	6,80	6,40	0,0002	920	8,0077		43,52	0,009		
Fardo de paja	1	5,34	5,88	0,05	90	141,3		31,40	1,57		
Contrapiso cascotes	1	5,34	5,88	0,12	1800	6782,2		31,40	3,768		
Piso cemento alisado	1	5,34	5,88	0,02	2100	1318,8		31,40	0,63		
	1	5,34	5,88	0,02	2100	1318,8		31,40	0,63	1,26	2637,53

Viv. Tapia		Nivel B									
Elemento	Nº	Dimensión			Kg/m ³	Cantidad				Parciales	
		Largo	Ancho	Espesor		Kg	ml	m2	m3	m3	Kg
Carpintería											
Cortina de enrollar PVC	4	2,75	2,07	0,005	900	102,47		22,77	0,11		
Puerta entrada madera	1	0,90	2,05	0,028	700			1,85			
Carpintería aluminio	4	2,75	2,05			21,40		22,55			
Ventana cocina - Al	1	0,90	1,00			8,26					
Ventana escalera - Al	1	1,00	0,50			5,16					
Ventana paso - Al	1	0,5	0,50		38,26	3,44			0,02		38,26
Puerta de madera	3	0,8	2,05	0,018	510	45,17		4,92	0,09		
Vidrio doble	4	2,75	2,05	0,008	2500	451,00		22,55	0,18		
	3	1,00	0,48	0,008	2500	28,80		1,44	0,01		
	1	1,00	0,90	0,008	2500	18,00		0,90	0,007	0,20	24,89
Vidrio simple	2	0,80	0,45	0,003	2500	5,40		0,72	0,002		503,20
Techo											
Chapa galv. BWG 25	9	8,58	1,10	0,001	7800	662,55		84,94	0,085		
Cumbrera BWG 25	9	1,22	0,50	0,001	7800	42,82		5,49	0,01	0,09	705,37
Barro y paja	1	7,5	7,15	0,02	1300	1394,25		53,63	1,07		
Fardo de paja	1	7,5	7,15	0,05	90	241,31		53,63	2,681		
Clavadera	10	8,58	0,05	0,075	450	144,79		4,29	0,32		
Polietileno 200 mic.	1	8,3	8,60	0,0002	920	13,13		71,38	0,014		
Machimbre 3/4	64	8,52	0,15	0,018	450	662,52		81,79	1,472		
Tirantería 3x6	13	8,26	0,15	0,075	700	845,62	107,4		1,208		
	3	8,54	0,15	0,075	700	201,76	25,6		0,288	1,50	133 ml
Pintura Ext. Cal + Imp.	3	14,1	5,92					249,53			
Pintura interior a la Cal	1	28,9	5,92					171,09			

Anexo 5

Estudios presentados en congresos o publicados

En este anexo se presenta un listado de trabajos publicados o presentados en congresos, relativos a la investigación.

Por último se presentan algunos artículos completos presentados en congresos, seleccionados durante el período 2012 – 2016 coincidente con esta maestranza.

Térmicos y sustentables

Patrone, J.C. y Evans, J. M. (2006) *Evaluación Térmica de una Vivienda de Suelo Cemento en Florencio Varela* - ASADES, Buenos Aires, Argentina

Patrone, J. C. Evans, J. M. Espuna Mújica, J. Roux Gutiérrez, R Garcia Izaguirre, V. (2009) *Comportamiento Térmico de Viviendas con Muros de Suelo Cemento Compactado en Dos Climas Distintos* - VIII° Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra - Tucumán, Argentina

Patrone, J.C. y Evans, J. M. (2011) *Estudio comparativo del desempeño térmico en viviendas de suelo cemento y de materiales convencionales – si + amb* proyecto y ambiente FADU-UBA, Buenos Aires, Argentina.

Patrone, J.C. y Evans, J. M. (2011) *Respuesta Ambiental de la Arquitectura de Tierra en el Espacio Latinoamericano* – PRE-ALTEHA, Buenos Aires, Argentina

Tovar-Jimenez, I. Figueroa, A. Fuentes, V Castorena, G. Terres, G, Barrios, G. Evans, M., S De Schiller, S. Patrone, J. (2016) *Comparative analysis of cost and energy performance of earth construction and conventional systems, in two Latin-American cases: México City and Buenos Aires* – PLEA 36 International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Los Angeles EEUU

Presentación de artículos completos publicados durante el período 2012-2016

Evaluación de Desempeño Ambiental de Construcción con Tierra Mediante Simulaciones Calibradas – Presentado en el 13° Seminario iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, Valparaíso, Chile (2013)

Evaluación de la Construcción con Tierra en Vivienda Social- Publicado en Construcción con Tierra 7- Buenos Aires, Argentina (2016)

EVALUACION DE DESEMPEÑO AMBIENTAL DE CONSTRUCCION CON TIERRA MEDIANTE SIMULACIONES CALIBRADAS

Juan Carlos Patrone¹, John Martin Evans², Ariel González³, Germán José Musante⁴

¹⁻² Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires.

Ciudad Universitaria Pabellón 3, piso 4, CABA, Argentina, tel. (+ 54 11) 4789-6274

¹ arqpa@yahoo.es; ² evansjmartin@gmail.com

³⁻⁴ Departamento de Ingeniería Civil, Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.

Lavaise 610, Santa Fe, tel. (+ 54 342) 4696029

dtocivil@frsf.utn.edu.ar; ³ aagonzal@frsf.utn.edu.ar

Palabras claves: Confort. Eficiencia energética. Impacto ambiental. Sustentabilidad

Resumen

El objetivo de este trabajo es obtener una base metodológica para ser utilizada como herramienta válida en futuras investigaciones que permitan mejorar la eficiencia energética de las construcciones de tierra dentro de los estándares de confort normalizados. Este trabajo presenta la primera fase exploratoria, realizada durante el año 2012, con el aporte de una serie de mediciones de temperatura y humedad registradas en tres viviendas construidas con diferentes técnicas empleando tierra cruda, ubicadas en los alrededores de la Ciudad de Santa Fé, con el fin de analizar, verificar, evaluar y comparar las situaciones de confort en el interior de las mismas. Dos de los casos en estudio corresponden a ampliaciones adosadas a construcciones convencionales existentes, lo cual permite la comparación de las distintas tecnologías. Por otra parte, en dos de dichas viviendas se utilizaron adobes y techo verde, mientras que en otra se utilizó BTC, bloques de tierra comprimida, y techo de paja. Esta diversidad ha permitido realizar un primer análisis comparativo entre construcción con tierra y construcción convencional, como también entre las distintas técnicas de tierra. Se trabajó luego con el programa Design Builder realizando las simulaciones correspondientes a cada una de las viviendas, para luego confrontarlas con los resultados de las mediciones y realizar el trabajo de ajuste sucesivo a través de simulaciones calibradas. Este procedimiento permitió integrar algunos parámetros para realizar la simulación, como así también verificar los datos recogidos de la auditoría térmica. Los resultados permiten establecer el comportamiento de la construcción con tierra en forma comparativa con la construcción convencional a través de mediciones in-situ y simulaciones numéricas, aportando evidencia del desempeño ambiental del suelo como material de construcción y soporte al valor tecnológico, estético y patrimonial del mismo en el marco de la Construcción Sustentable. Se cuenta con mediciones de invierno y verano, y los resultados obtenidos serán la base para las hipótesis de futuros trabajos, ahondando tanto en los estudios comparativos de confort bioambiental con distintas tecnologías constructivas como en la metodología de análisis y registro de datos.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace 10 años la UTN – FRSF incorpora dentro de sus líneas de investigación la construcción con tierra cruda. Se han desarrollado y desarrollan:

- Estudios de las prestaciones de elementos constructivos realizados con técnicas tradicionales de tierra.
- Proyectos interlaboratoriales con el fin de homogenizar métodos de ensayos y formas de certificar calidades de productos a base de tierra cruda.
- Incorporación de nuevos materiales y tecnologías a las usualmente reconocidas maneras de trabajar la tierra en construcción (Adobes, tapia, BTC, técnicas mixtas)

- Rescate y desarrollo de técnicas innovadoras para el mejoramiento de las prestaciones constructivas (Tierra vertida).
- Adecuación y desarrollo de prensas para la ejecución de bloques de tierra comprimida (BTC)
- Servicios a terceros de análisis de suelos, verificación de aptitudes para diversas técnicas y propuestas de dosificación.
- Ensayos de Resistencias a esfuerzos mecánicos y durabilidad.
- Desarrollos de investigaciones y adecuaciones constructivas para casos especiales.
- Transferencia e intercambio de conocimientos en tecnologías de tierra cruda con énfasis en BTC.
- Capacitación a pobladores y microemprendedores en técnicas de construcción con tierra.

En el desarrollo de estas actividades se generaron vínculos institucionales, entre otros, el contacto con el CIHE, Centro de Investigaciones Hábitat y Energía de la Universidad de Buenos Aires. Con esta institución reflexionamos acerca del escaso material existente en nuestro medio referido al análisis del confort bioambiental; de ello surgió el proyecto de realizar mediciones de temperatura y humedad en viviendas construidas con tierra cruda y en las cuales la UTN Santa Fe tiene participación en el asesoramiento y vínculo con los propietarios.

Es así que se firma el correspondiente acta acuerdo entre ambas instituciones para realizar conjuntamente la medición y análisis de los datos de diversas viviendas en Santa Fe y alrededores que se está llevando a cabo en la actualidad.

Aportando al concepto de sustentabilidad desde una de las etapas en la vida de la edificación que tiene que ver con la disminución del uso de recursos no renovables y valorando una calidad y salubridad del ambiente en contacto con el hombre; planteamos como objetivo cuantificar las mejoras higrotérmicas que suceden en el interior de viviendas construidas con técnicas de tierra cruda; considerando a priori que la tierra posee excelentes cualidades tanto en su coeficiente de transmitancia térmica como en su capacidad para regular la humedad ambiente.

2. DESARROLLO DE LA TOMA DE DATOS

2.1. Descripción de las viviendas

Primeramente se seleccionaron cuatro viviendas (solo una de ellas cuenta con mediciones de verano e invierno) que se encuentran en la zona, realizadas con tecnologías en tierra para obtener las mediciones. Se buscó que en lo posible estén realizadas con diferentes técnicas constructivas, para permitirnos un análisis comparativo entre ellas, así como en relación a otras construidas con tecnologías tradicionales.

Se llevaron a cabo mediciones en las diferentes viviendas, durante el mes de enero, en esta oportunidad, para obtener datos de verano. Una vez seleccionadas las viviendas, en cada una de ellas se ubicaron sensores de tipo data logger, procurando instalar al menos 3 por vivienda. La mayoría de los sensores sólo registran datos de temperatura, y algunos arrojan además los de humedades relativas, por lo que se procuró instalar al menos uno de estos últimos por vivienda.

También se instaló una estación meteorológica en la Facultad Regional Santa Fe, para obtener datos más precisos en lo que respecta a la temperatura exterior. Estos datos se tomaron como base para evaluar las condiciones térmicas en los interiores de las viviendas.

A continuación puede verse la ubicación de los sensores (figuras 1 a 3) de cada vivienda, así como imágenes de las mismas y una planilla síntesis de algunas de las características más relevantes.

Fecha de inicio de mediciones: 19/12 11:50 hs

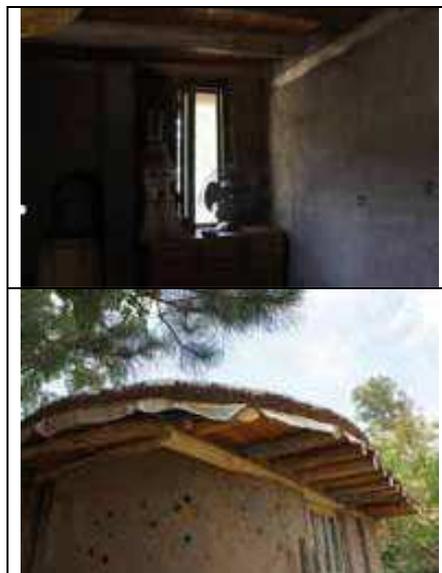
Características de los elementos constructivos				Características de ocupación y uso		
	piso	muro	cubierta	Ocupantes		Ocupación hs/día
Adobe				Mayores	Menores	aprox 8 hs (promedio enero)
BTC				2		
Quincha						
Ladrillo común						
Paja						
Losa						
Chapa						
Vivo						
Sobre contrapiso				Ventilación hs/día		% aventanamiento
Entablonado s/cámara de aire				Aprox 1 hs (promedio enero) <small>la vivienda permaneció deshabitada unos 10 días</small>		14.95% 



Figura 1. Vivienda 1 – Arroyo Leyes

Fecha de inicio de mediciones: 19/12 11:50 hs

Características de los elementos constructivos				Características de ocupación y uso		
	piso	muro	cubierta	Ocupantes		Ocupación hs/día
Adobe				Mayores	Menores	aprox 20 hs (promedio enero)
BTC				2	1	
Quincha						
Ladrillo común						
Paja						
Losa						
Chapa						
Vivo						
Sobre contrapiso						
Entablonado s/cámara de aire						
				Ventilación hs/día		% acristalamiento
				Aprox 6 hs ventilación nocturna (promedio enero)		16.27%



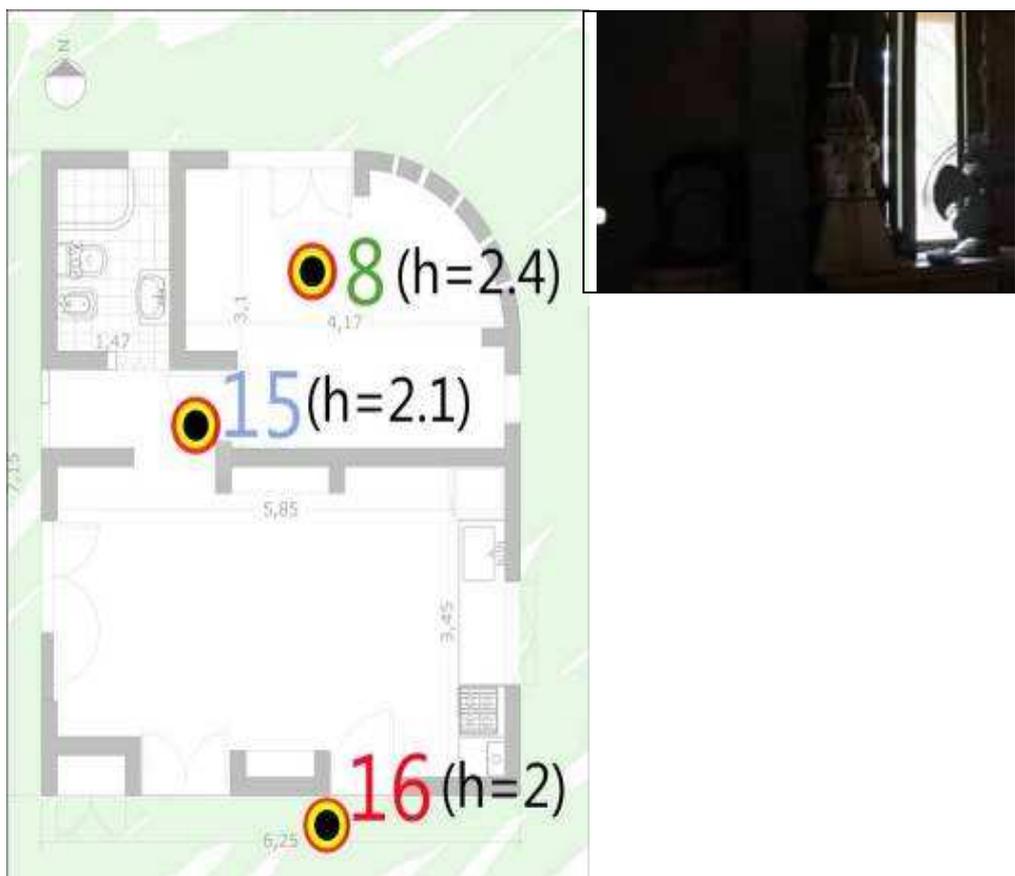


Figura 2: Vivienda 2 – Rincón Norte
 Fecha de inicio de mediciones: 19/12 11:50 hs

Características de los elementos constructivos

	piso	muro	cubierta
Adobe			
BTC			
Quincha			
Ladrillo común			
Paja			
Losa			
Chapa			
Vivo			
Sobre contrapiso			
Entablonado s/cámara de aire			

Características de ocupación y uso

Ocupantes		Ocupación hs/día
Mayores	Menores	aprox 10 hs (promedio enero)
2		

Ventilación hs/día	% acristalamiento
aprox 2 hs (promedio enero)	6.83

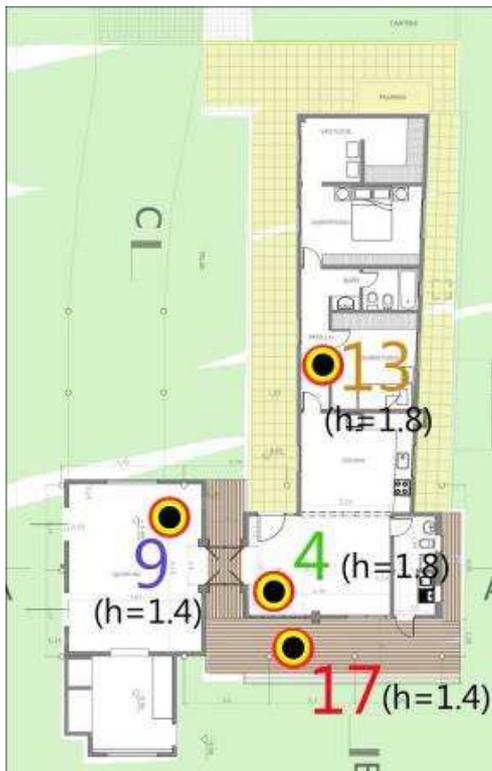


Figura 3: Vivienda 3 – Paraná

2.2. Análisis de datos térmicos

Luego de retirar todos los sensores se dispone de planillas en donde se encuentran las temperaturas correspondientes a cada período, tiempo de registro (15 minutos). Es por esto que se realiza primeramente un promedio entre las temperaturas y humedades registradas en una hora, para obtener los valores “horarios”.

A partir de los valores arrojados por la estación meteorológica, se intenta buscar cuales son los días que pueden considerarse “de condiciones climáticas típicas”, para poder utilizarlo como muestras significativas que permitan realizar un análisis a partir de estos. Luego, se realiza un análisis de las amplitudes térmicas diarias. Así se encontró que, si bien estas se ubican en un rango desde 15,5 grados el 28 de enero hasta 3 grados el 11 de este mes, el promedio de amplitudes térmicas resulta ser de 11 grados. Por lo tanto se toman los días en donde se ubica en valores entre 10 y 12 grados de amplitud térmica como días de condiciones típicas.

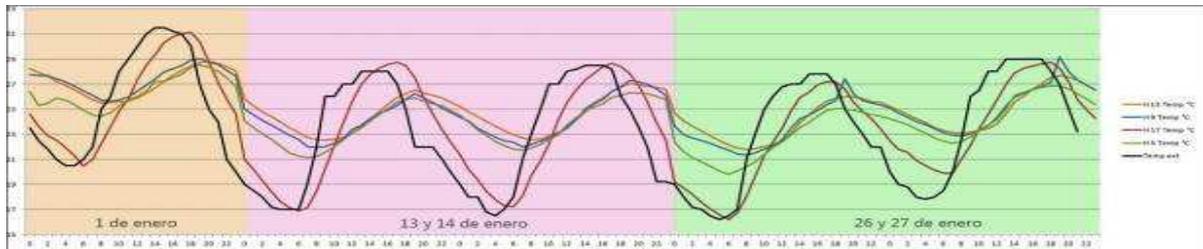
De esta manera surgen cinco días “típicos”. Estos son el 1, 13 y 14, 26 y 27 de enero, que se van a tomar para analizar los datos arrojados por los sensores. Se realizan los gráficos, en donde se puede comparar los resultados con la temperatura exterior medida con la estación meteorológica.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

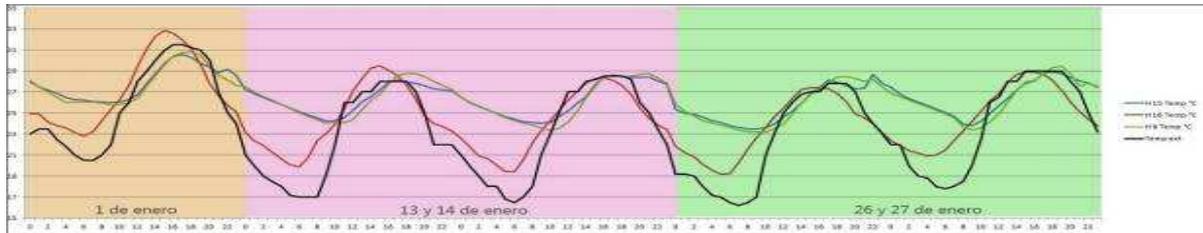
3.1. Análisis comparativo

En el gráfico 4 puede ver claramente el desempeño de cada una de las viviendas.

Vivienda 1 – Arroyo Leyes



Vivienda 2 – Rincón Norte



Vivienda 3 – Paraná

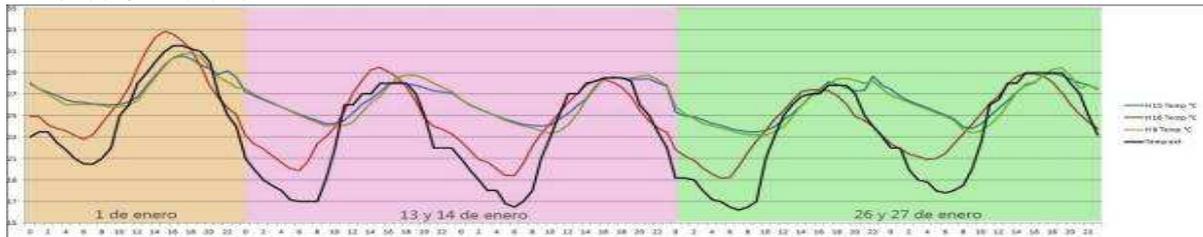


Figura 4: gráfico temperatura - tiempo

En el caso de la vivienda 1 a medida que aumenta la altura de la ubicación de los sensores, la temperatura registrada es mayor, habiendo un pequeño retraso entre la curva de la estación meteorológica y la de los sensores. El data logger situado al ras de la cubierta (nº 18) muestra cómo los registros de temperaturas más elevadas se conservan en el tiempo algo más que los otros.

En la vivienda 2, se observa cómo el sensor ubicado en el exterior se acerca más a la curva registrada por la estación meteorológica, si bien las temperaturas nocturnas resultan ser algo mayores en comparación con la vivienda 1.

Se observa cómo los registros en el interior de la vivienda, una vez alcanzado los límites máximos de temperaturas, tienen una caída muy lenta en el tiempo, es decir, una vez alcanzadas las temperaturas de mayor desconfort para verano, la vivienda tarda más tiempo en enfriarse.

En el caso de la vivienda 3, también se aprecia la curva del sensor ubicado al exterior, en este caso muy similar al registrado por la estación meteorológica.

Resulta muy interesante observar, que los límites máximos de temperaturas alcanzados en el interior de la vivienda se sitúan aproximadamente dos grados por debajo en comparación con los otros dos casos analizados.

En términos generales, se puede ver que en la vivienda 1 se alcanza un enfriamiento mayor, y en menor tiempo en comparación con las otras. Y la vivienda número 3 es la que

alcanza temperaturas menores en los momentos más calurosos del día. En este caso, los cambios en la temperatura exterior tardan más tiempo en reflejarse en el interior, tanto en la etapa de calentamiento como en la etapa de enfriamiento de la vivienda.

En la vivienda número 2 el enfriamiento se produce más lentamente. Esto puede llegar a ser beneficioso para los meses invernales, pero resulta algo negativo para los meses de verano.

3.2. Análisis de datos de temperatura y humedad

Para realizar un análisis conjunto de los datos de temperatura y humedad, se utiliza un diagrama psicrométrico (figura 5).

En el mismo se ubica una zona que se considera, “de condiciones de confort”, que en el gráfico aparece en tono naranja. Los valores que se ubiquen dentro de ésta, se consideran que están dentro de los parámetros donde el ser humano lo percibe como confortables. Es decir, a medida que tengamos una mayor cantidad de puntos dentro de esta zona, las condiciones de habitabilidad en una determinada vivienda serán mejores.

A partir del diagrama psicrométrico y la delimitación de la zona de confort, se comienzan a introducir los diferentes datos. Para ello se tomó un promedio de los registros de los días “típicos” ya especificados, escogiendo sólo los datos arrojados por aquellos sensores que registraban ambas variables (temperatura y humedad relativa).

Estos son:

- La estación meteorológica
- Sensor nº 18 (Vivienda 1 - Arroyo Leyes)
- Sensor nº 16 (Vivienda 2 - Rincón Norte)
- Sensor nº 9 (Vivienda 3 - Paraná)

3.2.1. Estación Meteorológica

Si se observan los datos de la estación meteorológica se vera que sólo durante dos horas del día, las temperaturas se pueden considerar que estuvieron dentro de la zona de confort. Son los tres puntos que se encuentran dentro de la zona pintada de naranja, que son las registradas entre las 9 y las 11 horas de la noche del día 1 de enero de 2012, y entre la 1 y 2 horas de la mañana).

Esto significa que sólo durante algo más del 12 % de las horas del día permanecemos bajo temperaturas confortables.

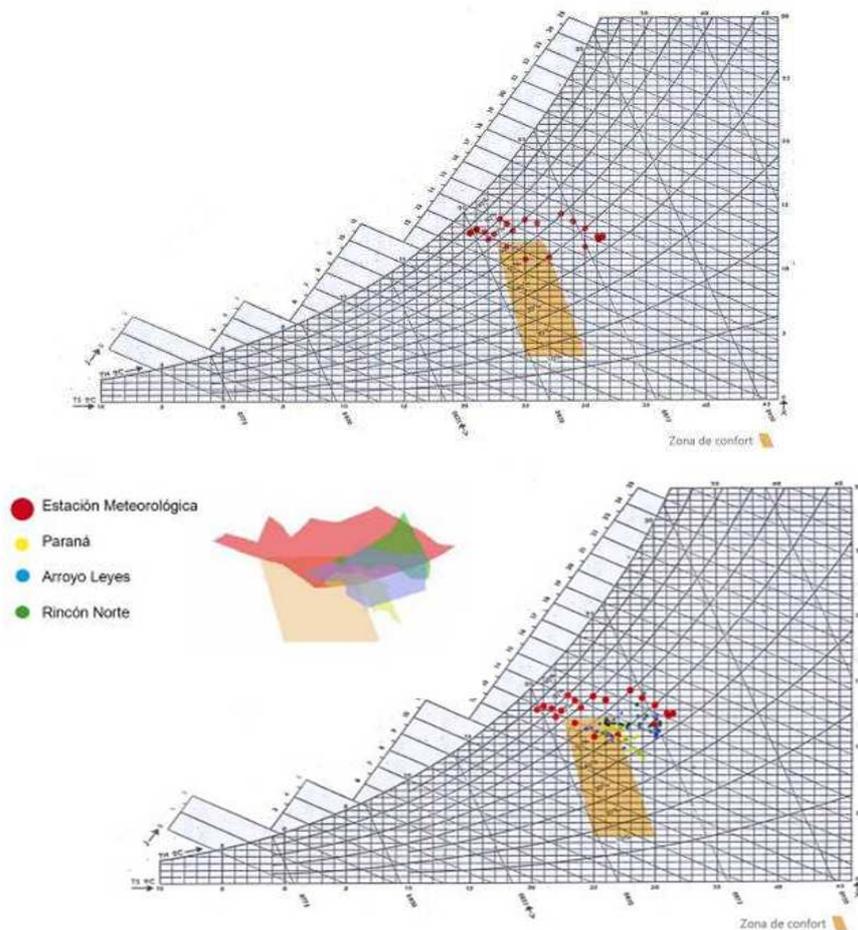


Figura 5: diagramas psicométricos

3.2.2. Data Logger Nro 18 (Vivienda 1 - Arroyo Leyes)

En el gráfico correspondiente al data logger nº 18 se ve que 11 puntos se encuentran dentro de la zona de confort, con su correspondiente porcentaje de algo más del 45% del día bajo temperaturas confortables. El porcentaje resulta muy favorable, si se considera que este sensor se encontraba a 10 cm de la cubierta, en donde se suele acumular la mayor cantidad de calor.

Las temperaturas “confortables” son consecutivas, y se registran mayormente en las horas nocturnas a partir de las 1 horas y hasta las 12 del mediodía.

3.2.3. Data Logger Nro 16 (Vivienda 2 - Rincón Norte)

Si se analizan los resultados para este mismo día en el interior de la vivienda que se grafica con los puntos verdes, se encontrara que 10 puntos se insertan dentro de la zona de confort. Estos coinciden con las temperaturas nocturnas, a partir de las 3 horas de la mañana y el confort se extiende hasta las 13 horas del mediodía. Puede observarse en el gráfico que los puntos que se encuentran fuera de la zona de confort no se alejan demasiado de la misma en comparación con la temperatura exterior, en donde se ven los puntos algo más expandidos en el gráfico.

Esto arroja un porcentaje algo menor que el 42%, para las horas del día en que se encuentra bajo temperaturas de confort en el interior de la vivienda.

3.2.4. Data Logger Nro 9 (Vivienda 3 - Paraná)

En el tercer caso, el sensor nº 9, también se acercan a la zona de confort unos 10 puntos, aunque se observa una notable reducción en las temperaturas alcanzadas en las diferentes horas del día en comparación con las mediciones anteriores.

En este caso las temperaturas ingresan a la zona de confort a partir de las 6 de la mañana, y se extiende hasta las 15 horas. En comparación con las anteriores, esto resulta favorable ya que en la zona más crítica, de calentamiento de la vivienda, cercana al mediodía, existe una mayor cobertura.

Se puede verificar gráficamente las diferentes nubes que se forman con los valores ubicados en el diagrama. Así se ve cómo se reduce la misma si se compara la estación meteorológica en relación a las diferentes resultantes interiores. Hay una menor amplitud térmica para una nube más pequeña, esto resulta una condición más favorable porque se aleja menos de la zona de confort.

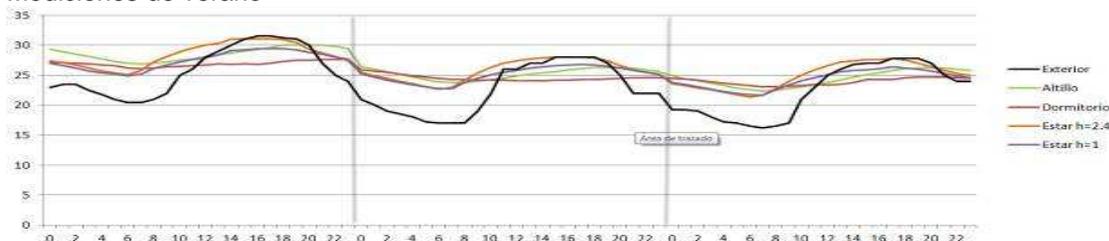
La nube amarilla es la más pequeña, a la vez, se acerca más a la parte inferior del gráfico en comparación con las otra, lo que indica que las temperaturas tienden a ser las más bajas de los tres casos analizados.

3.3. Análisis comparativo en vivienda con datos de invierno

En la figura 6 se muestran los datos comparativos registrados en verano y en invierno, en una vivienda ubicada en la ciudad de Rincón, en las cercanías a la ciudad de Santa Fe. La vivienda inicialmente fue construida con técnicas tradicionales y luego se realizó una ampliación con construcción en tierra. Esto permitió comparar los valores arrojados en los diferentes locales.

La zona del estar corresponde a la parte tradicional y el sector del dormitorio es el construido en tierra. Este local posee un entresuelo/altillo en donde también se colocó un sensor. Se tomaron las mediciones registradas los días 1, 13 y el 26 de diciembre de 2011 para verano y para invierno las del 27 de agosto, el 13 y 16 de septiembre de 2012. Los data loggers se ubicaron en los mismos lugares aunque en verano se dispuso de un sensor más que se ubicó en el estar, a una altura diferente.

Mediciones de verano



Mediciones de invierno

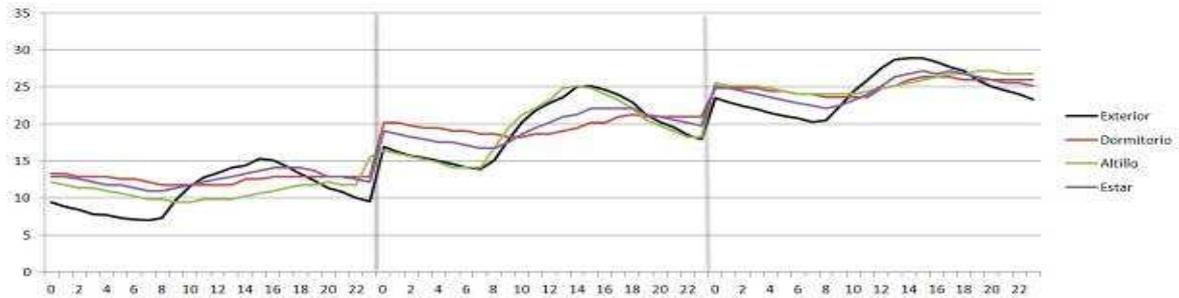


Figura 6 – gráfico de datos comparativos registrados en verano y en invierno

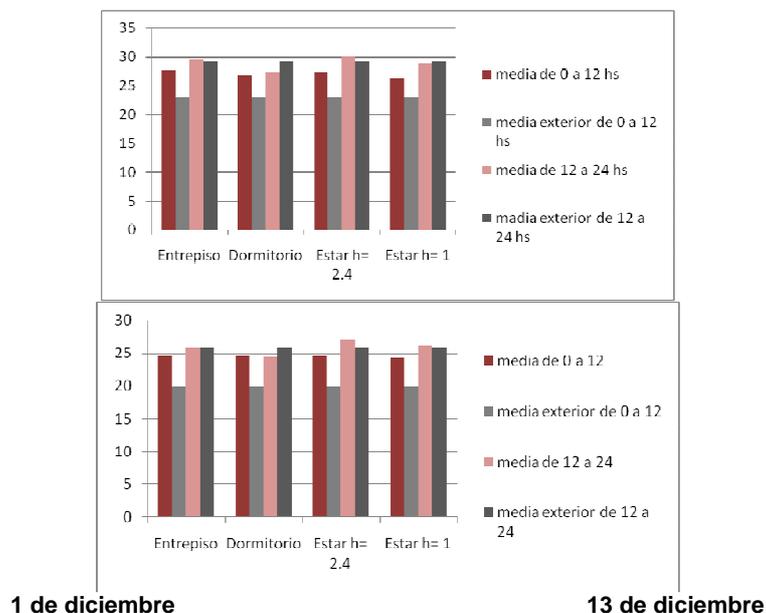
Se realizó un gráfico de barras (figura 7) con las medias de temperaturas, en este caso para cada día se divide en una fase de calentamiento y una de enfriamiento, que para simplificar los pasos se toma el período de 0 a 12 del mediodía y otro de éste a las 24 horas.

Para las medidas tomadas en verano, si bien en las primeras horas del día no parece haber mucha diferencia entre los distintos locales, pasadas las 12 horas, el dormitorio (construido en tierra) pareciera calentarse algo menos que el resto de los locales.

A simple vista podemos observar también que para las mediciones de invierno, y durante las horas de la mañana, el dormitorio es el que mayor conserva la temperatura, y donde está la mayor amplitud térmica en relación a la temperatura exterior.

Una vez pasado el mediodía, al aumentar la media de temperatura exterior, los otros locales parecen calentarse algo más rápido que el dormitorio como igualmente ocurre en verano. El altillo, para los meses de invierno parece responder de muy buena manera, ya que posiblemente la estratificación del calor lo favorece. Esto no se refleja en los meses de verano.

Se podría pensar a partir de los gráficos que la tierra posee buenas propiedades para almacenar temperatura aunque no responde muy rápidamente si las condiciones exteriores cambian.



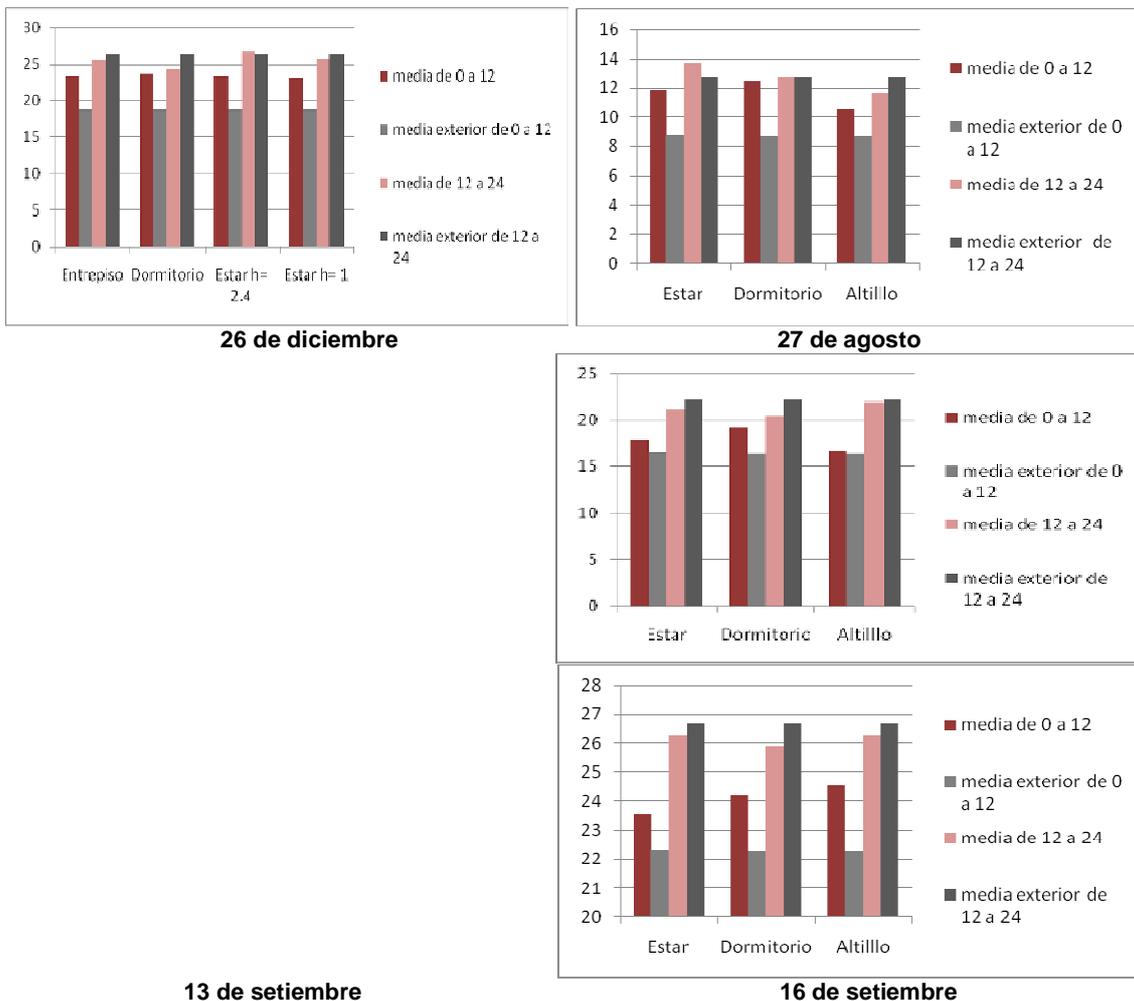


Figura 7. Gráficos de medias de temperatura

La capacidad de retener o aislar el calor por parte de un cerramiento es una de las características principales que requiere cualquier vivienda que se pretenda eficiente energéticamente. A raíz de este análisis la tierra parece responder de buena manera según los resultados de las mediciones realizadas.

3.4 Simulación

Otra herramienta que se utilizó como medio para obtener algunos valores cuantitativos que permitan establecer comparaciones entre tecnologías de tierra y tradicionales, fue la simulación por computadora, utilizándose programas diseñados al efecto.

Se tomó una de las viviendas en las que se realizaron mediciones, para realizar un primer análisis. En este caso la número 2, ubicada en Rincón Norte.

Cabe mencionar que en este software primeramente se ingresan los datos correspondientes al clima local, y luego se construye la vivienda virtualmente. A cada elemento constructivo se le asigna el material correspondiente, con sus respectivas propiedades térmicas (la transmitancia térmica de cada material resulta fundamental para el análisis).

Por otro lado se ingresa un calendario de actividades y personas que habitan la vivienda, para cuantificar las cargas internas emitidas por las personas y por los diferentes artefactos que producen calor como por ejemplo la cocina, la computadora o la iluminación; así como también las horas de ventilación, etc.

Una vez ingresados todos los datos, se realiza la simulación en la selección de días del año que se requieran.

De este modo se pueden observar que los resultados se presentan muy similares a los extraídos por las mediciones. Vemos que las temperaturas en el interior de la vivienda oscilan en casi todos los días, entre 24°C y 29°C.

La diferencia más notable en relación a las mediciones es que en el período de calentamiento de la vivienda, en la simulación se realiza en forma más extendida en el tiempo. Es decir, desde una primera aproximación, los resultados en la simulación son más optimistas que los extraídos de las mediciones.

4. CONCLUSIONES

De las mediciones realizadas con data loggers, desde una primera aproximación al análisis térmico, se puede decir que la vivienda número 3, es la que arrojó los resultados más favorables. Esta alcanza niveles de calentamiento inferiores al resto de las viviendas. También se observa que la curva de temperaturas interiores se encuentra más desplazada en el tiempo, aspecto que resulta positivo, ya sea que fuera ocasionado por la masa térmica que posea la vivienda o el nivel de aislamiento de la envolvente.

Un dato importante a tener en cuenta es que la vivienda tiene el menor porcentaje de aventanamiento en comparación con las otras, así como menor carga interna en relación a las personas que la habitan.

En la vivienda 1, el enfriamiento se produce más rápidamente en las horas en donde el sol comienza a esconderse, y se alcanzan las temperaturas más bajas de las tres viviendas, condición que resulta favorable para los meses de calor.

Cabe aclarar que estas dos primeras viviendas mencionadas, están construidas con BTC, y cubierta de paja.

En la vivienda número 2 el enfriamiento se produce más lentamente, y las temperaturas máximas alcanzadas resultan bastante elevadas, si bien no se diferencian demasiado de la vivienda 1. Se podría pensar que en los meses de invierno, las condiciones serán muy favorables, ya que la casa parece tener gran capacidad de conservación del calor. Sería de interés estudiar detalladamente para este caso, las cargas internas generadas por la cocina y sus respectivos usos.

Del análisis de datos de temperatura y humedad, se desprende que en la vivienda de Paraná los resultados resultan algo mejores, tanto por los niveles de temperatura y humedad alcanzados, que resultan menores que los otros casos; como por la reducida amplitud térmica alcanzada, en comparación con las otras viviendas.

En la vivienda de Arroyo Leyes, la amplitud térmica es la mayor, aunque los niveles alcanzados no son tan altos como en la vivienda ubicada en Rincón Norte.

En términos generales se ve que en las viviendas construidas con tierra, aproximadamente en un 45 a 50 % de las horas del día se encuentran temperaturas confortables.

De la simulación realizada en PC, si bien es una primera prueba del uso de esta herramienta, con el fin de extraer datos confiables de las características de los elementos constructivos de tierra; se pueden hacer algunas primeras lecturas al respecto.

Los resultados se presentan muy similares a los extraídos por las mediciones. Esto permite otorgar cierta confiabilidad en las evaluaciones que se puedan realizar por medio de este software, si bien vistos más en detalle, los resultados en la simulación son algo más optimistas que los extraídos de las mediciones.

Sería de interés, en futuros trabajos, modificar la materialidad de la vivienda en la simulación, para comparar los resultados entre distintos sistemas constructivos, desde las envolventes, a las cubiertas, etc.

Estos resultados permiten plantear futuros desarrollos que amplíen y profundicen los resultados obtenidos en pos de mejorar las hipótesis de trabajo en otros proyectos complementarios.

Currículos

Juan Carlos Patrone: Arquitecto FADU-UBA, investigador del Centro de Investigación Hábitat y Energía, en 2001 inició investigaciones en arquitectura y construcción con tierra, construyendo un prototipo experimental de vivienda económica en el Municipio de Florencio Varela, Gran Buenos Aires. Es miembro activo de la Red Iberoamericana PROTERRA y director del centro Terrabaires.

John Martin Evans: Dr. Arq. y Prof. Consulto UBA, Director del CIHE, es investigador en el uso racional, eficiencia energética y energías renovables en edificios. Graduado y docente en Architectural Association, Londres, Doctorado en Arquitectura en la Universidad Tecnológica de Delft, Países Bajos, fue Vice-Decano del Bouwcentrum International Education, Rotterdam, recibió premios, 'Pionero en energías renovables' de WREN, World Renewable Energy Network.

Ariel González: Ingeniero en Construcciones, Magister Scientiae en Metodología de la Investigación Científica y Técnica. Profesor e investigador de la UTN, Santa Fé, Argentina, trabaja en equipos interdisciplinarios en temas del hábitat urbano y rural. Secretario Ejecutivo de la Red Latinoamericana de Cátedras de Vivienda (ULACAV), miembro de la Red Ibero-americana PROTERRA y coordinador de la Red Argentina PROTIERRA.

Germán J. Musante: Arquitecto UNL, Master Oficial en Energías Renovables y Eficiencia Energética por la Universidad de Zaragoza. En 2010 integrante del Grupo de Energía y Edificación de la Universidad de Zaragoza, realizando el prototipo de la vivienda a competir en el Solar Decathlon Europe 2012. Desde 2011/12 integra el Grupo de Investigación en Tierra Vertida, en el Departamento de Ingeniería Civil, UTN, Regional Santa Fé.

EVALUACION DE LA CONSTRUCCION CON TIERRA EN VIVIENDA SOCIAL

Sebastián D'Andrea, Hernán Passone, Juan Carlos Patrone

RESUMEN

El presente trabajo expone la evaluación realizada sobre dos tipologías de vivienda social ubicadas en diferentes Zonas Bioclimáticas de la República Argentina: Tucumán y Gran Buenos Aires. Se toma como base de referencia las viviendas de los respectivos Institutos Provinciales de Vivienda, y se analizan propuestas para mejorar el desempeño térmico de la envolvente y la incorporación de estrategias de diseño bioclimático y optimizar su acondicionamiento natural.

El Grupo de Construcción con Tierra, gCT-CIHE, adapta estas viviendas a sistemas constructivos con tierra cruda. Para ello, se analizan las características climáticas y sísmicas de cada zona, se exponen los criterios constructivos originales de cada vivienda y se evalúa el cambio de sistema comparando los datos arrojados por los cálculos de confort térmico y de pérdidas volumétricas.

Se considera el ahorro en costo y en el uso de energía resultantes de la selección de materiales del lugar con baja demanda de energía para su transformación y aplicación en obra, en el marco de la construcción sustentable.

Palabras clave: vivienda social, arquitectura bioclimática, construcción con tierra, ahorro energético, huella de carbono.

CONTEXTO

Se analiza un conjunto de vivienda social ubicado en zona suburbana de la Ciudad de Tucumán, con un diseño típico del Instituto Provincial de la Vivienda, con unidades de dos dormitorios, baño, cocina y estar-comedor que permiten un futuro crecimiento hacia el exterior. Sólo la tipología orientada al E-O tiene un lavadero separado, en el resto de las unidades, este espacio se integra a la cocina. Con esta base, se realizan mejoras en el nivel de aislación térmica.

Paralelamente se analiza un conjunto viviendas del IPV de la Provincia de Buenos Aires ubicado en un área en expansión del Municipio de Almirante Brown, que propone 2 tipologías: una en dúplex en 2 plantas y otra apareada, desarrollada sólo en una planta, con 58 m² de superficie.

Las tipologías seleccionadas para este trabajo corresponden a proyectos de vivienda que incorpora recursos de diseño bioambiental con orientación favorable al norte. En el caso de Tucumán cuentan con 65,50 m², mientras la vivienda de Gran Buenos Aires tiene 58 m².

Ambas presentan la misma materialidad con bloque de cerámico hueco y estructura de hormigón armado, con sus respectivas características, diferenciándose al momento de evaluar el cambio de sistema constructivo.

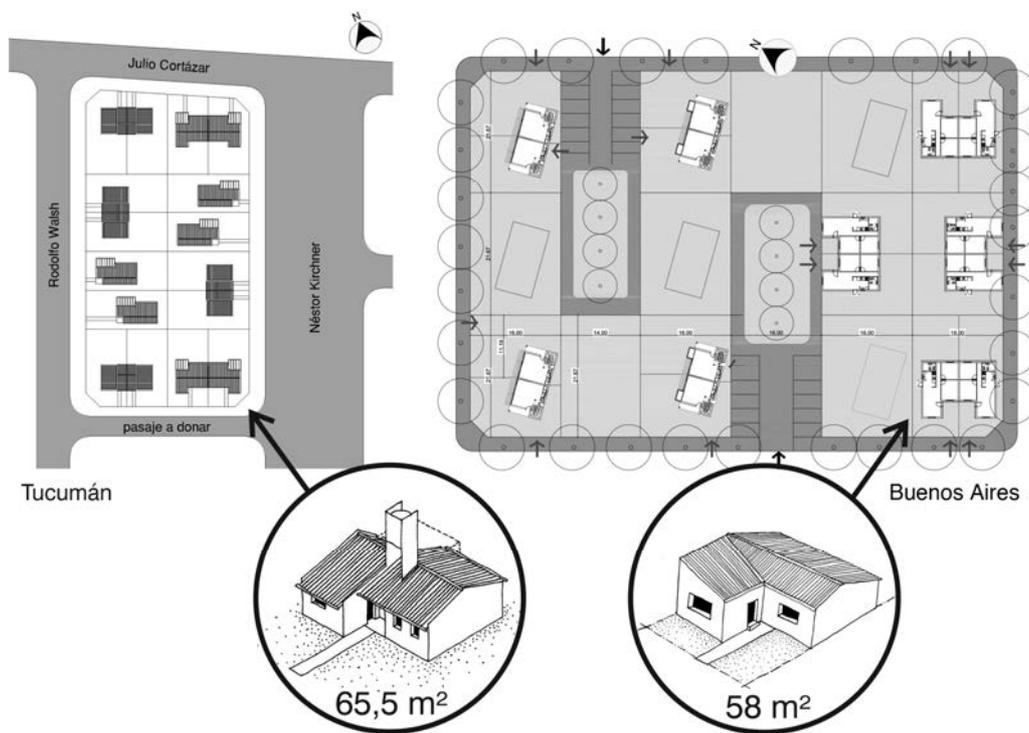


Figura 1. **Situación de las viviendas y esquema de cada tipología.**

De acuerdo a la Norma IRAM 11.603, San Miguel de Tucumán se ubica en la Zona Bioambiental II, cuyas características responden a veranos cálidos con altas temperaturas y elevada humedad relativa, e inviernos poco rigurosos, siendo esta última la época del año menos crítica para el confort.

El Gran Buenos Aires, correspondiente a la Zona Bioambiental III b, templada cálida con amplitudes térmicas menores a 14°C, y veranos relativamente calurosos, presenta temperaturas medias comprendidas entre 14°C y 24°C, con máximas mayores que superan los 30°C. El invierno presenta valores medios de temperatura comprendidos entre 5°C y 16°C, y valores mínimos que rara vez llegan a 0°C.

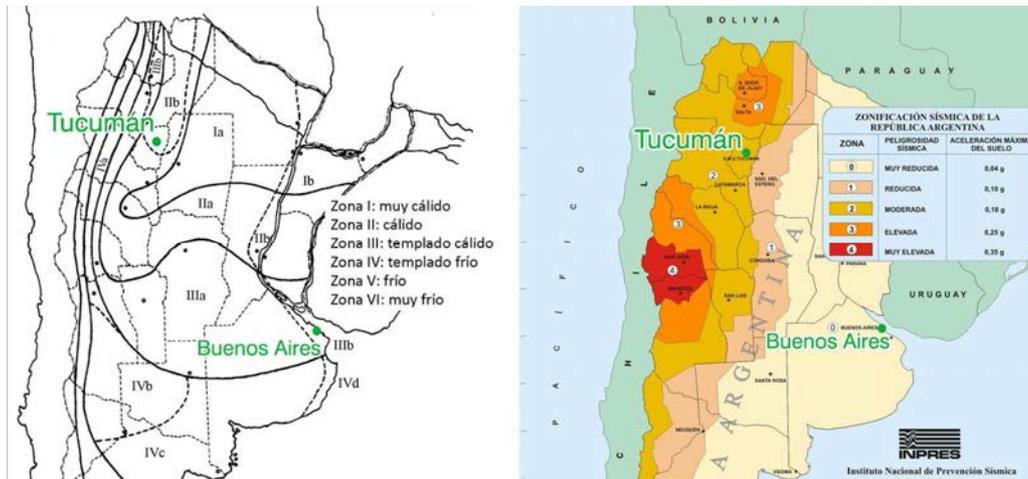


Figura 2. **Zonas Bioclimáticas de la República Argentina (Norma IRAM 11.603) y Zonas sísmicas de la República Argentina (Instituto Nacional de Prevención Sísmica)**

Adicionalmente a las características bioclimáticas, un dato relevante a considerar es la sismicidad en el caso de Tucumán, ubicado en Zona 2, de Riesgo Sísmico Moderado, según el Instituto Nacional de Prevención Sísmica, consideración que también contempla la construcción con tierra cruda.

Independientemente de las condiciones bioambientales y sísmicas, las viviendas de referencia de los IPVs presentan la misma materialidad, como se muestra en la Figura 1.

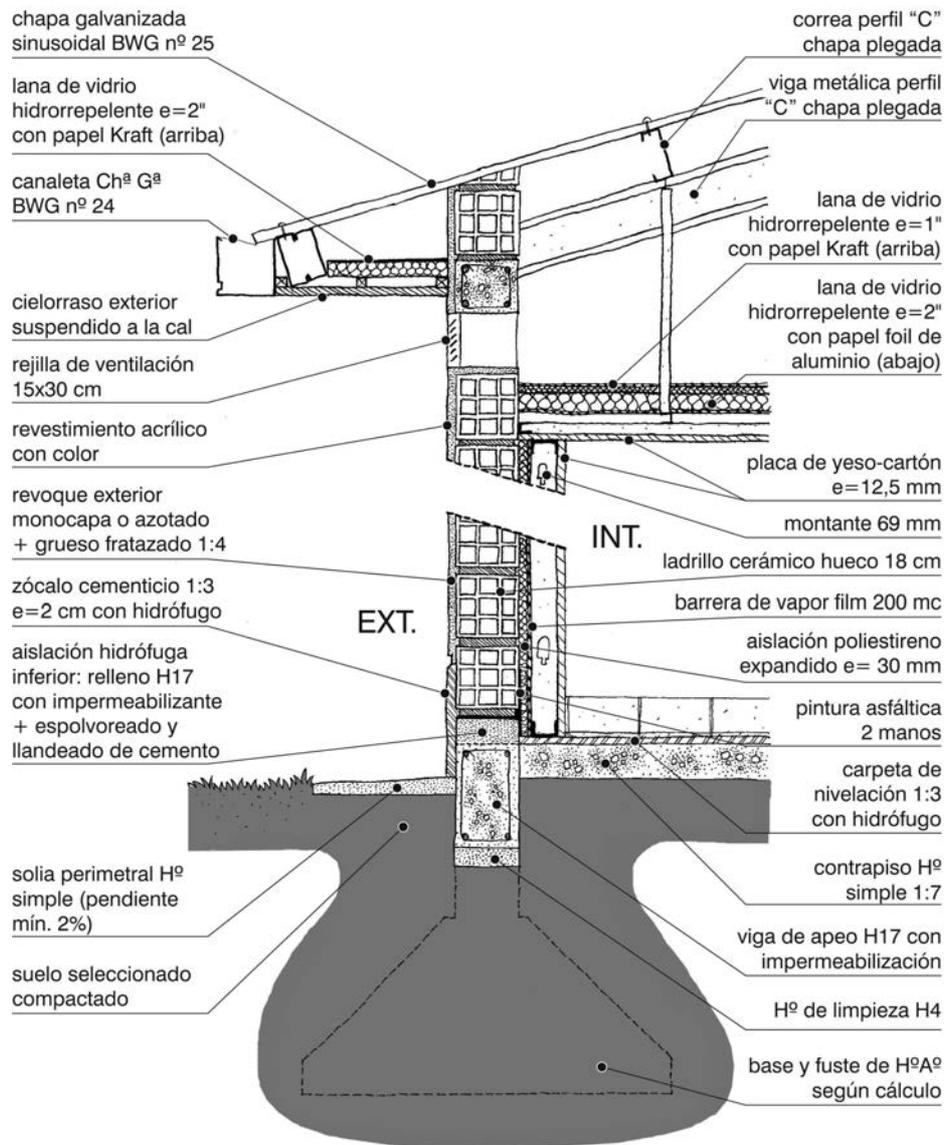


Figura 3. Corte de un muro con las mejoras de acondicionamiento térmico.

Composición constructiva:

- Fundaciones y estructura de hormigón armado.
- Muros envolventes e interiores con ladrillo cerámico.
- Muros medianeros con ladrillo macizo.
- Revoques cementicios terminados con pintura látex en áreas de uso y revestidos con cerámica en sectores de servicio.
- Pisos con revestimiento cerámico.
- Techos de chapa galvanizada sinusoidal de leve pendiente con cámara de aire.
- Provisión de servicios de red (agua, electricidad, gas y cloacas).

- Descarga de aguas pluviales a calle pavimentada.

Incorporación de mejoras de desempeño térmico:

Sobre estas características constructivas, se incorporan cambios en el desempeño térmico a fin de mejorar las condiciones de confort, representadas en la Figura 3:

- Solución de puentes térmicos utilizando Superboard.
- Incorporación del lavadero al interior de la vivienda con diseño bioclimático.
- Divisiones con placa de roca de yeso para eliminar puentes térmicos entre muros interiores y exteriores.
- Reubicación de futuros crecimientos en vivienda con diseño bioclimático para favorecer la ventilación cruzada.
- Colocación de aberturas con DVH.
- Incorporación de poliestireno expandido en el piso.
- Incorporación de barrera de vapor en muros, antepechos y dinteles.
- Incorporación de colectores solares para provisión de agua caliente.

Manteniendo el diseño original del IPV, estas modificaciones mejoran las características de la envolvente. Aplicando estas mejoras, el cálculo de la transmitancia térmica, según Norma IRAM 11.601, arroja un resultado que permite cumplir con el máximo exigido para alcanzar el Nivel B en ambas localidades, Tucumán y Gran Buenos Aires.

NORMA IRAM 11.601					CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA				
PROVINCIA	Tucuman		ESTACION	Tucuman					
PROYECTO	Viviendas sociales en Tucumán								
ELEMENTO	Muro								
EPOCA DEL AÑO	Verano		FLUJO DE CALOR	Horizontal					
ZONA BIOAMBIENTAL	2b		Cálida, menor amplitud térmica						
NIVEL SEGÚN IRAM 11.605	B Medio		TMND Temp min de diseño		2,2				
Capa del elemento constructivo			e	λ		R			
Tipo	Variable		metros	W/m·K		m ² ·K/W			
Resistencia superficial exterior					0,04				
Revoque/mortero	Revoque ext		0,02	1,16		0,02			
Bloq ceram hueco y ladrillo	Ladrillo d = 180C		0,18	0,91		0,20			
Poliestireno exp	d = 30		0,03	0,032		0,94			
Cámara de aire	e = 50-100 mm		0,07	0		0,21			
yeso	placa d = 1200		0,0125	0,51		0,02			
Resistencia superficial interior					0,13				
Espesor total, metros			0,3125	R total		1,56			
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K						0,64			
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11.605						1,32			
Absorción radiación solar			Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605				

Tabla 1. Cálculo de K para muro de ladrillo hueco (verano) en Tucumán.

NORMA IRAM 11.601		CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA		
PROVINCIA	Gran Bs As	ESTACION	Ezeiza	
PROYECTO	Viviendas sociales Alte. Brown, Buenos Aires			
ELEMENTO	Muro			
EPOCA DEL AÑO	Invierno	FLUJO DE CALOR	Horizontal	
ZONA BIOAMBIENTAL	3b	Templada cálida, ampl térmica < 12		
NIVEL SEGÚN IRAM 11.605	B Medio	TMND Temp min de diseño	0,7	
Capa del elemento constructivo		e	λ	R
Tipo	Variable	metros	W/m·K	m ² ·K/W
Resistencia superficial exterior				
Revoque/mortero	Revoque ext	0,02	1,16	0,02
Bloq ceram hueco y ladrillo	Ladrillo d = 1800	0,18	0,91	0,20
Poliestireno exp	d = 30	0,03	0,032	0,94
Cámara de aire	e = 50-100 mm	0,07	0	0,21
yeso	placa d = 1200	0,0125	0,51	0,02
Resistencia superficial interior				
				0,13
Espesor total, metros		0,3125	R total	1,56
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K				0,64
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11.605				1,00
Absorción radiación solar	Menor a 60%			Cumple IRAM 11.605

Tabla 2. Cálculo de K para muro de ladrillo hueco (invierno) en Burzaco.

DESARROLLO

Partiendo del modelo de vivienda con las mejoras bioclimáticas es que se realiza el cambio de sistema constructivo reemplazando los elementos de factura industrial por otros producidos en las cercanías y que en su fabricación presenten un bajo consumo de energía. Al proponer este cambio no sólo se mantiene el diseño original de la vivienda sino que también se mantienen las mejoras realizadas.

La construcción con tierra no prescinde de las consideraciones bioclimáticas, puesto que no siempre alcanza condiciones de confort ideales por sí sola. Por el contrario, la tierra y el diseño bioclimático se complementan perfectamente entre sí potenciando los beneficios que cada uno ofrece.

Es por este motivo que, aun eligiendo la tierra y otros materiales naturales asociados a ella, como sistema constructivo, se conserva la morfología y las orientaciones de las viviendas, reemplazando los materiales industrializados por materiales de similares o mejores prestaciones térmicas disponibles en el lugar y de bajo uso de energía para su fabricación.

Un material extraído de las cercanías y sin otro proceso para su uso en obra más que el acarreo y el tamizado, como es el caso de la tierra, no sólo permite un ahorro monetario significativo sino que, además, favorece el ahorro energético.

Un ladrillo cerámico consume una cantidad de combustible fósil para su cocción no requerido en la fabricación de adobes puesto que es el sol se encarga del secado, sin emitir gases de efecto invernadero.

TRANSFORMACION Y ADAPTACION

Por los datos ya expuestos y de acuerdo a las características de los suelos del lugar, las estrategias sugeridas en la presente evaluación consisten en las siguientes condiciones:

- Fundaciones de hormigón armado.
- Sobre-cimiento de piedra partida o piedra laja.
- Estructura mixta: muros portantes de adobe o BTC sismo-resistente con contrafuertes, tensores de hierro y rollizos de eucalipto (para Tucumán).
- Doble muro de adobe o BTC con aislación interior de paja comprimida para el caso de Buenos Aires.
- Muros internos de adobe o BTC.
- Revoques de barro terminados con pinturas a la cal en áreas de uso y revestidos con cerámica en sectores de servicio.
- Revoques de barro con endurecimiento gradual de cal y arena hacia el exterior, incluyendo una capa de aislación hidrófuga.
- Pisos con revestimiento cerámico.
- Techo de chapa galvanizada sinusoidal, estructura de rollizos de eucalipto o tirantería de madera y paja prensada como aislante térmico.
- Aleros de entre 50 y 70 cm de voladizo para protección de muros.
- Reubicación del tanque de agua en un mangrullo de rollizos de eucalipto, independiente de la estructura de la vivienda.

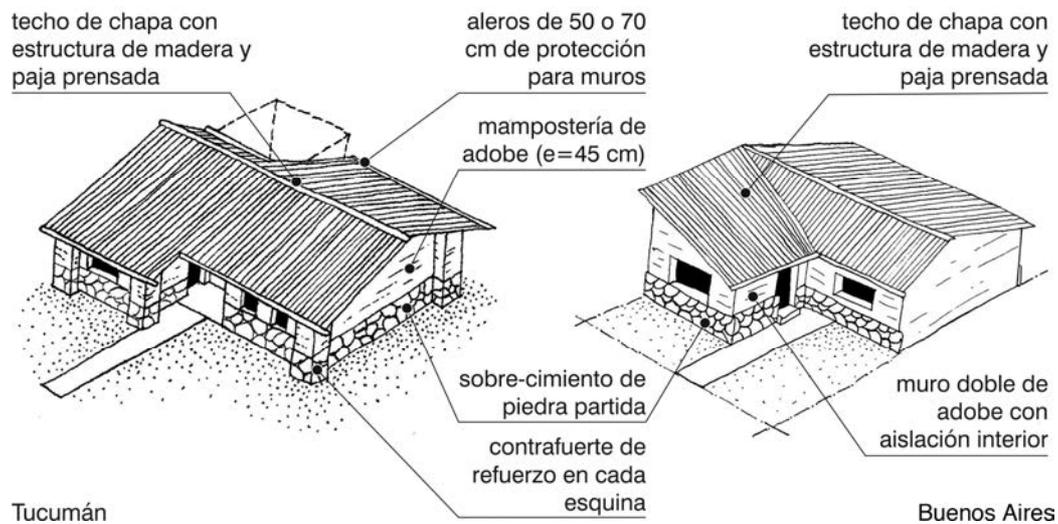


Figura 4. Viviendas adaptadas a la construcción con tierra cruda.

El voladizo del alero y el sobre-cimiento tienen como objetivo proteger al muro de tierra cruda de la erosión debida a las precipitaciones y la humedad. La resistencia a los sismos, solo para las viviendas de Tucumán, se logra reforzando el muro con contrafuertes en las esquinas y tensores de hierro colocados horizontalmente entre hiladas de adobes o BTC y solidarizados con la estructura de eucalipto.

Adicionalmente, se coloca un refuerzo estructural con medios rollizos de eucalipto ubicados a la altura de los dinteles, fijados con bulones cada 50 cm. Para la vivienda de Tucumán se elige un muro portante de adobe combinado con estructura de madera, mientras que para la de Buenos Aires, los muros de adobe son dobles, con aislamiento interior.

El techo adopta la misma solución para ambas situaciones, realizado con rollizos de eucalipto o tirantería de madera sobre los que se clava el entablonado que recibe la aislación hidrófuga, una capa aislante de paja prensada sobre la que se coloca una capa fina de barro, de 2 cm. La composición de la cubierta se completa con chapa galvanizada sinusoidal.

CONFORT TERMICO

En las Tablas 1 y 2 se muestran las viviendas con la incorporación de estrategias de diseño bioclimático, cumpliendo ampliamente con la transmitancia térmica máxima admitida por la Norma. Sin embargo, para cumplir con ese nivel, es

necesario contar con muchas capas de material superpuestas unas a otras. A mayor cantidad de material, mayor será la cantidad de energía requerida para producirlo y mayor la cantidad de mano de obra para aplicarlo, con el consiguiente aumento de la huella de carbono.

La construcción con tierra, en cambio, utiliza materiales que acompañan a la humanidad desde hace miles de años pero que fueron desplazados por materiales de producción industrial. Si se comparan los detalles en la Figura 3 con los de las Figuras 5 y 6, se verá que el muro de adobe es mucho más sencillo, logrando resultados óptimos con menor diversidad de materiales.

Los materiales industrializados deben cumplir con una serie de ensayos y normalizaciones que garanticen su durabilidad. Lamentablemente, no pasa lo mismo en el país, con la arcilla, la paja de trigo o la lana de oveja. Por eso, al plantearse este cambio hacia un sistema constructivo con materiales que están volviendo a ser usuales, los valores tomados para confeccionar las tablas provienen de estudios hechos en otros países donde se han realizado ensayos y se ha logrado su normalización, permitiendo su difusión, apoyando su desarrollo y facilitando su coexistencia con otros sistemas.

NORMA IRAM 11.601					CÁLCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA				
PROVINCIA	Tucuman		ESTACION	Tucuman					
PROYECTO	Viviendas sociales en Tucumán								
ELEMENTO	Muro								
EPOCA DEL AÑO	Verano		FLUJO DE CALOR	Horizontal					
ZONA BIOAMBIENTAL	2b		Cálida, menor amplitud térmica						
NIVEL SEGÚN IRAM 11.605	B Medio		TMND Temp min de diseño		2,2				
Capa del elemento constructivo			e	λ	R				
Tipo	Variable		metros	W/m·K	m ² ·K/W				
Resistencia superficial exterior					0,04				
Revoque/mortero	Revoque a la cal		0,005	0,87	0,01				
Tierra	Paja y barro livia		0,02	0,5	0,04				
Tierra	Adobe con paja		0,4	0,48	0,83				
Tierra	Paja y barro livia		0,02	0,5	0,04				
Revoque/mortero	Cal y tierra int		0,005	0,78	0,01				
Resistencia superficial interior					0,13				
Espesor total, metros			0,45	R total	1,10				
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K					0,91				
Transmitancia térmica máxima admisible W/m ² K según IRAM 11.605					1,32				
Absorción radiación solar			Menor a 60%		Cumple IRAM 11.605				

Tabla 3. Cálculo de K para un muro de adobe (verano) en Tucumán.

Al comparar las tablas de cálculo de transmitancia térmica de los muros de ladrillo cerámico y las de los muros de adobe, se observa que el valor de K de estos

últimos se mantiene por debajo del máximo sugerido por la Norma IRAM 11.605 para el Nivel B 'medio' de confort higro-térmico, el cual cumple, además, con los valores exigidos por la Ley N° 13.059 de la Provincia de Buenos Aires de eficiencia energética en edificios.

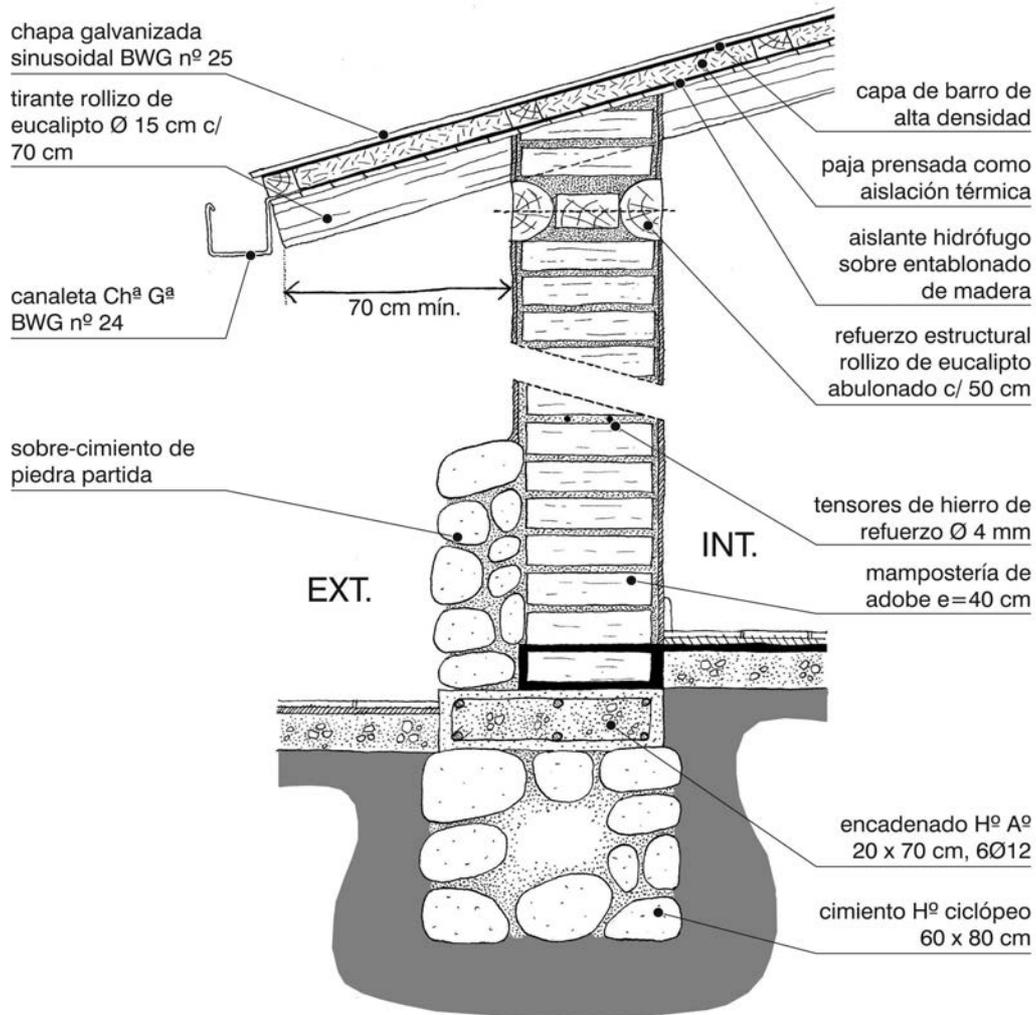


Figura 5. Corte del muro de adobe para la vivienda en Tucumán.

Se hace notar que estos valores corresponden al Nivel B 'medio' de confort según dicha norma. Teniendo en cuenta que se trata de vivienda social, son valores superiores al mínimo admitido para el Nivel C, actualmente requerido en los IPVs.

Aunque mayor en espesor con respecto al muro de ladrillo hueco, el muro de adobe no solo mejora las prestaciones térmicas sino que también permite una

economía al utilizar menos materiales y contar como materia prima fundamental la tierra del lugar, sin depender de transporte.

La sustancial diferencia entre las viviendas de Tucumán y Buenos Aires consiste en que, para esta última, se incorpora una capa de fibra comprimida como aislante térmico adicional entre dos muros, uno interno y otro externo, lo cual permite mejorar notablemente el valor de K.

NORMA IRAM 11.601					CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA				
PROVINCIA	Gran Bs As		ESTACION	Ezeiza					
PROYECTO	Viviendas sociales en Alte. Brown, Buenos Aires								
ELEMENTO	Muro								
EPOCA DEL AÑO	Invierno		FLUJO DE CALOR	Horizontal					
ZONA BIOAMBIENTAL	3b		Templada cálida, ampl térmica < 12						
NIVEL SEGÚN IRAM 11.605	B Medio		TMND Temp min de diseño		0,7				
Capa del elemento constructivo			e	λ		R			
Tipo	Variable		metros	W/m·K		m²·K/W			
Resistencia superficial exterior			0,04						
Revoque/mortero	Cal y tierra ext		0,025	0,82		0,03			
Tierra	Adobe con paja		0,15	0,48		0,31			
Madera / paja	Fardo de paja		0,025	0,045		0,56			
Tierra	Adobe con paja		0,15	0,48		0,31			
Revoque/mortero	Cal y tierra int		0,01	0,78		0,01			
Resistencia superficial interior			0,13						
Espesor total, metros			0,36	R total		1,39			
K' Transmitancia térmica del componente W/m²K						0,72			
Transmitancia térmica máxima admisible W/m²K según IRAM 11.605						1,00			
Absorción radiación solar		Menor a 60%			Cumple IRAM 11.605				

Tabla 4. Cálculo de K para un muro de adobe (invierno) en Buenos Aires.

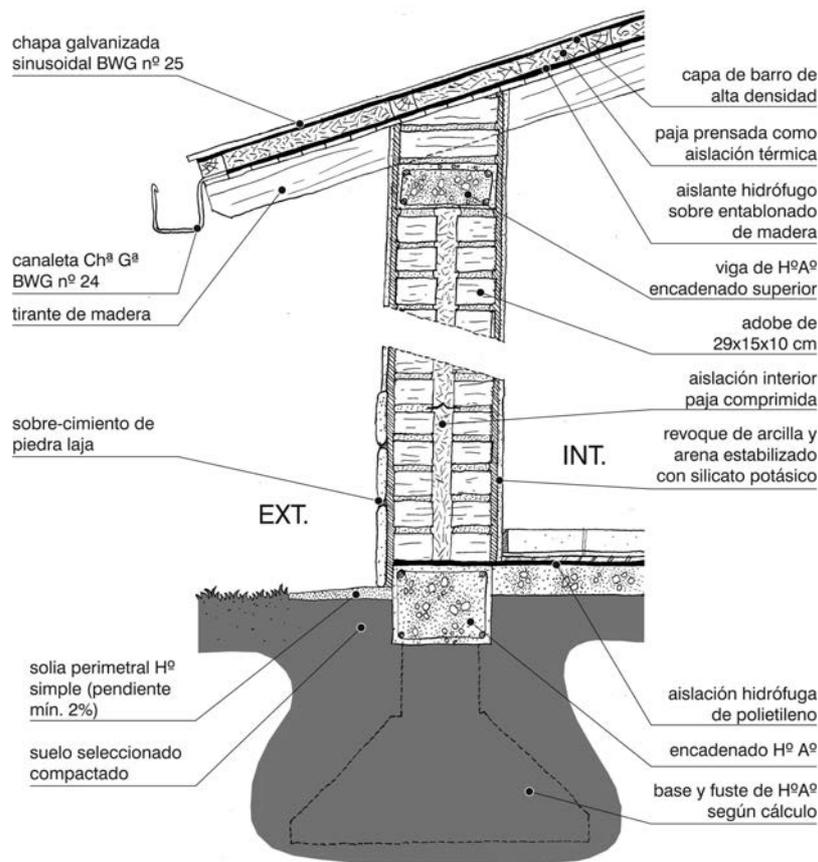


Figura 6. Corte del muro de adobe para la vivienda en Buenos Aires.

PERDIDAS VOLUMETRICAS DE CALOR

Adicionalmente a los cálculos de transmitancia térmica, es necesario también tener en cuenta las pérdidas volumétricas. En el caso de las viviendas seleccionadas, el volumen a calefaccionar es 203,05 m³ para Tucumán y 176,84 m³ para Buenos Aires. El K del muro y del techo utilizados como referencia corresponde a la vivienda construida con adobes. Por las aberturas vidriadas, con vidrio simple, se produce la menor cantidad de pérdidas: 16 % y 11 % del total, respectivamente. La Figura 7 muestra las pérdidas por piso y por otros cerramientos.

La pérdida volumétrica global en cada caso se encuentra por debajo del máximo admisible según la Norma IRAM 11.604, correspondiendo 1,92 W/K para Tucumán y 1,79 W/K para Buenos Aires. Para el muro representado en la Figura 3, de ladrillo cerámico hueco, este mismo valor corresponde a 1,66 W/K, inferior al

valor del muro de adobes: 1,90 W/K para Tucumán y 1,47 W/K para Buenos Aires, pero sin lograr economías y beneficios que este último material ofrece.

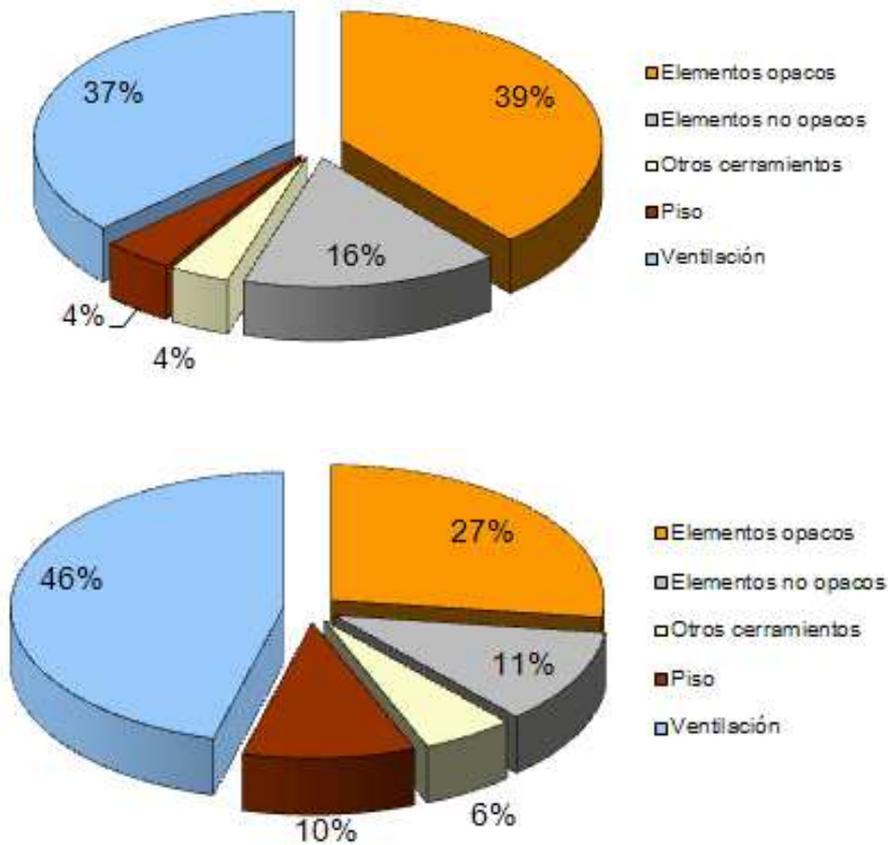


Figura 7. Gráficos de pérdidas volumétricas por transmisión e infiltración de aire para Tucumán (arriba) y Buenos Aires (abajo).

Para la vivienda de Tucumán, las mayores pérdidas se producen a través de los muros en un 39 %, mientras que para Buenos Aires casi la mitad de las pérdidas (46 %) son por ventilación, puesto que la aislación de paja comprimida ayuda a reducir las pérdidas a través de los elementos opacos.

CONCLUSIONES

La principal ventaja que ofrece la tierra como material de construcción es su relativa abundancia y disponibilidad en distintos sitios aunque revisten diferentes

características. Su extracción y preparación también son sencillas, ya que no se requiere maquinaria costosa ni alto consumo de energía. Todo ello se traduce en bajo costo económico, ahorro energético y disminución de contaminación ambiental.

La segunda ventaja es su reversibilidad. A diferencia de la gran mayoría de los materiales de construcción, la tierra puede ser reutilizada, se retira, se muele, se humedece y vuelve a tener valor para la obra.

Luego de expuestos los cuadros con los cálculos se concluye que, aunque la vivienda mejorada bioclimáticamente ya representa un avance de calidad, la construcción con adobes permite, principalmente, una mejora más en el confort térmico puesto que en verano, época crítica en Tucumán, la temperatura superficial interior resulta menor: 20,4°C en el caso del muro con bloque cerámico y 19,7°C para el muro de adobes.

De manera similar, cuando en el invierno bonaerense la temperatura exterior llega a 14°C, la vivienda con muro doble de adobe logra una temperatura superficial interior a 15,4°C, mientras que la vivienda de referencia llega a 15,2°C.

Todos los valores obtenidos de las tablas y de los cálculos cumplen con lo exigido por la Norma, por lo que se puede concluir que, aunque no sea un material estandarizado y homogéneo, la tierra está en condiciones de constituir viviendas confortables de bajo costo y de reducida huella de carbono, ventajas que merecen ser destacadas más aun cuando se trata de vivienda social.

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo se inscribe en el marco del Proyecto UBACyT '*Reducción de emisiones GEI, gases efecto invernadero, en el sector vivienda*', de Grupos Consolidados, Código 20020130100827BA, Programación 2014-2017, dirigido por el Dr. Arq. John Martin Evans. Asimismo, incorpora resultados de las pasantías de investigación de la Secretaría de Investigaciones, FADU-UBA: 1. Programa de Pasantía Académica, Hernán Passone, estudiante avanzado de Diseño Industrial, y 2. Programa de Pasantía de Investigación, Arq. Sebastián D'Andrea, ambas con la dirección del Arq. Juan Carlos Patrone, con sede en el Centro de Investigación Hábitat y Energía, CIHE-SI-FADU-UBA.

BIBLIOGRAFIA

Carta de Suelo de la República Argentina - 3557-19 - Brandsen - Instituto de Suelo - INTA.
<http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/3557/Brandsen/index.htm>

de Schiller, Silvia (2014), *Diseño bioclimático, eficiencia energética y energía solar para la reducción de energía convencional en vivienda social*. XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, VI International Solar Energy Society, y Asociación Brasileira de Energía Solar, ASADES+ISES+ABENS, INENCO, Salta. ISBN 978-987-29873-0-5.

Evans, John Martin y de Schiller, Silvia. (1986, 1988, 1994). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*, Secretaría de Extensión Universitaria, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Serie Ediciones Previas N°9, EUDEBA, Buenos Aires. ISBN 950-29-0037-5.

Instituto Nacional de Prevención Sísmica. *Zonificación Sísmica de la República Argentina*.
<http://contenidos.inpres.gov.ar/acelerografos/Reglamentos#Zonificaci%C3%B3n%20S%C3%ADsmica>

Minke, Gernot. (2001). *Manual de Construcción en Tierra*, Editorial Fin de Siglo, Kassel.

Nicastro, Raúl. (2010). *Tecnología constructiva de tierra cruda*, Apóstrofe Ediciones, San Salvador de Jujuy. ISBN 978-987-1542-15-4.

Norma IRAM 11601:1996. *Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Norma IRAM 11603:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Norma IRAM 11605:1996. *Acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires.

Normas ISO: *Cálculo de la huella de carbono*. http://normas-iso.com/wp-content/uploads/2013/04/Huella_de_Carbono.pdf