

## **EVALUACION AMBIENTAL 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 m<sup>2</sup> de superficie, Figura 1.

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 m<sup>2</sup>, mientras la vivienda de Gran Buenos Aires tiene 58 m<sup>2</sup>.

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.

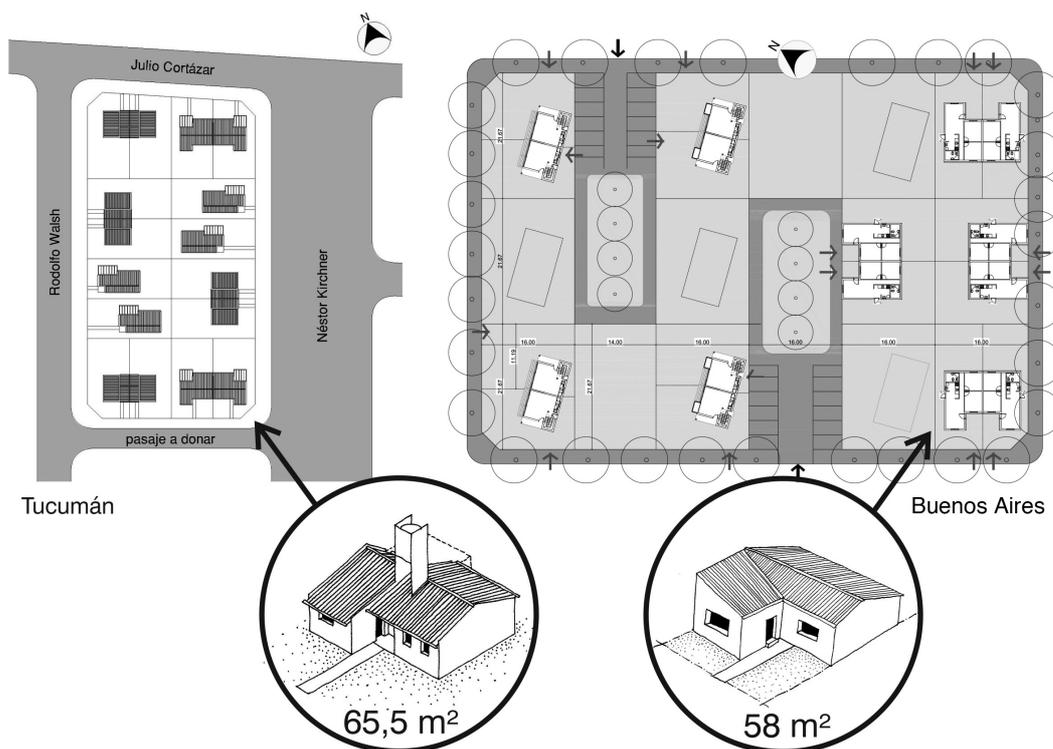


Figura 1. Situación de las viviendas y esquema de cada tipología.

De acuerdo a la Norma IRAM 11.603, San Miguel de Tucumán se ubica en la Zona Bioambiental II, Figura 2, 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.

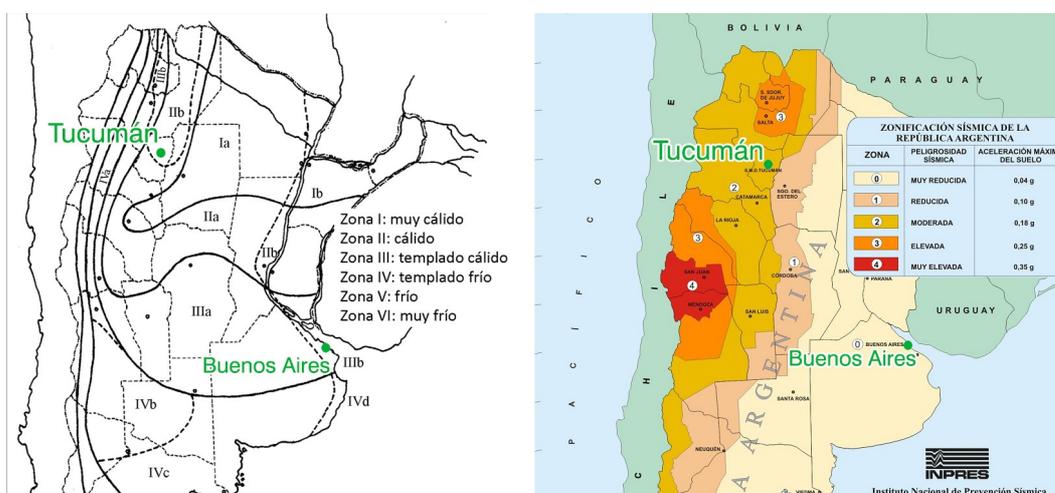


Figura 2. Zonas Bioclimáticas de la República Argentina (Norma IRAM 11.603) y Zonas sísmicas de la República Argentina (Instituto Nacional de Prevención Sísmica)

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 3.

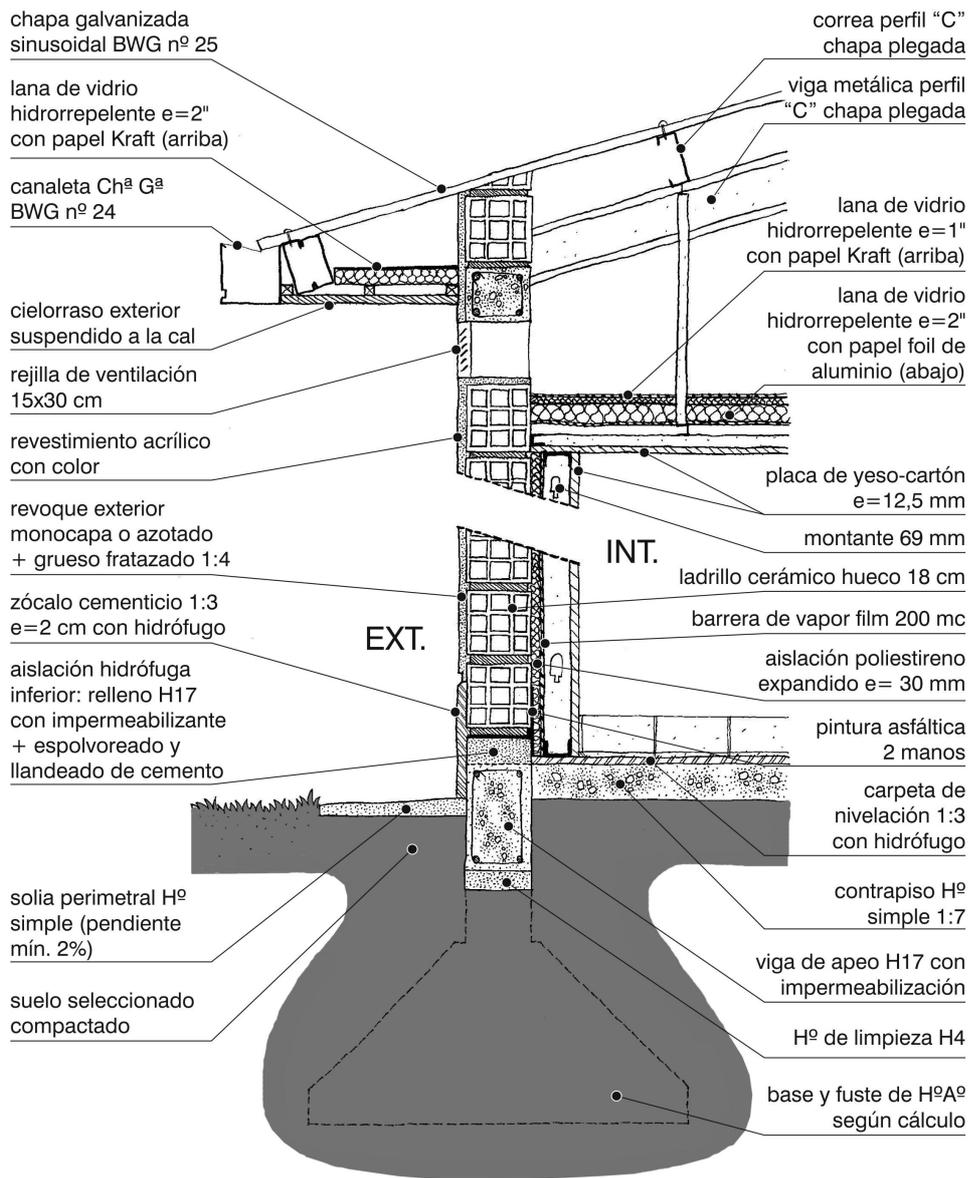


Figura 3. Corte de un muro con las mejoras de acondicionamiento térmico.

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	$\lambda$	R
Tipo	Variable	metros	W/m-K	m <sup>2</sup> -K/W
Resistencia superficial exterior				0,04
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
<b>Espesor total, metros</b>		0,3125	<b>R total</b>	1,56
<b>K' Transmitancia térmica del componente W/m<sup>2</sup>K</b>				<b>0,64</b>
Transmitancia térmica máxima admisible W/m <sup>2</sup> K según IRAM 11.605				1,32
Absorción radiación solar	Menor a 60%	<b>Cumple IRAM 11.605</b>		

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	$\lambda$	R
Tipo	Variable	metros	W/m·K	m <sup>2</sup> ·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				
		0,3125	R total	1,56
<b>K' Transmitancia térmica del componente W/m<sup>2</sup>K</b>				<b>0,64</b>
Transmitancia térmica máxima admisible W/m <sup>2</sup> K según IRAM 11.605				1,00
Absorción radiación solar		Menor a 60%		<b>Cumple IRAM 11.605</b>

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.

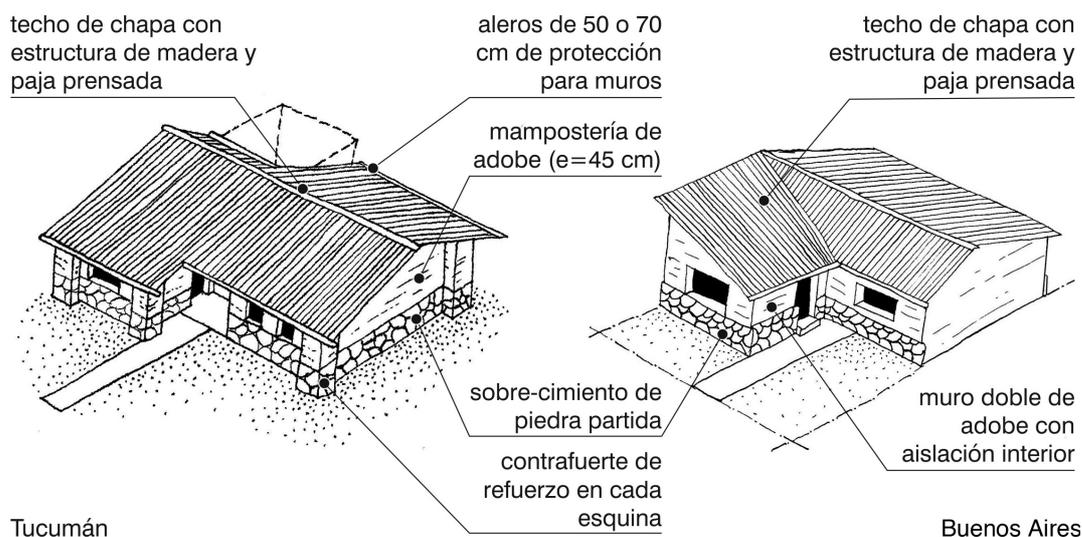


Figura 4. Viviendas adaptadas a la construcción con tierra cruda.

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 aislación 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		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	$\lambda$	R
Tipo	Variable	metros	W/m·K	m <sup>2</sup> ·K/W
Resistencia superficial exterior				
Revoque/mortero	Revoque a la cal	0,005	0,87	0,01
Tierra	Paja y barro liviano	0,02	0,5	0,04
Tierra	Adobe con paja	0,4	0,48	0,83
Tierra	Paja y barro liviano	0,02	0,5	0,04
Revoque/mortero	Cal y tierra int	0,005	0,78	0,01
Resistencia superficial interior				
Espesor total, metros		0,45	R total	1,10
<b>K' Transmitancia térmica del componente W/m<sup>2</sup>K</b>				<b>0,91</b>
Transmitancia térmica máxima admisible W/m <sup>2</sup> K según IRAM 11.605				1,32
Absorción radiación solar	Menor a 60%		<b>Cumple IRAM 11.605</b>	

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.

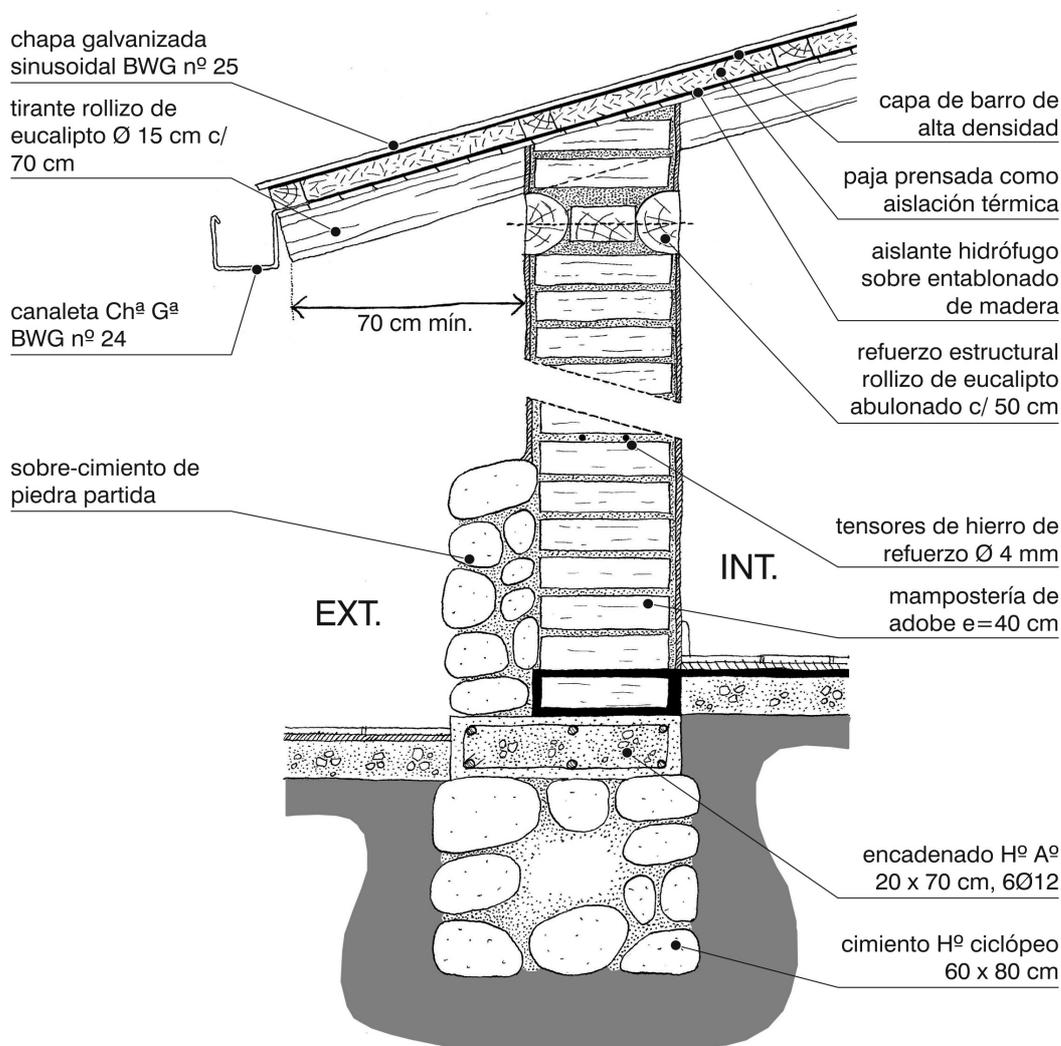


Figura 5. Corte del muro de adobe para la vivienda en Tucumán.

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 IPV.

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	Variable	e metros	$\lambda$ W/m·K	R m <sup>2</sup> ·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
<b>Espesor total, metros</b>	0,36		<b>R total</b>	1,39

**K' Transmitancia térmica del componente W/m<sup>2</sup>K** **0,72**

Transmitancia térmica máxima admisible W/m<sup>2</sup>K 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.

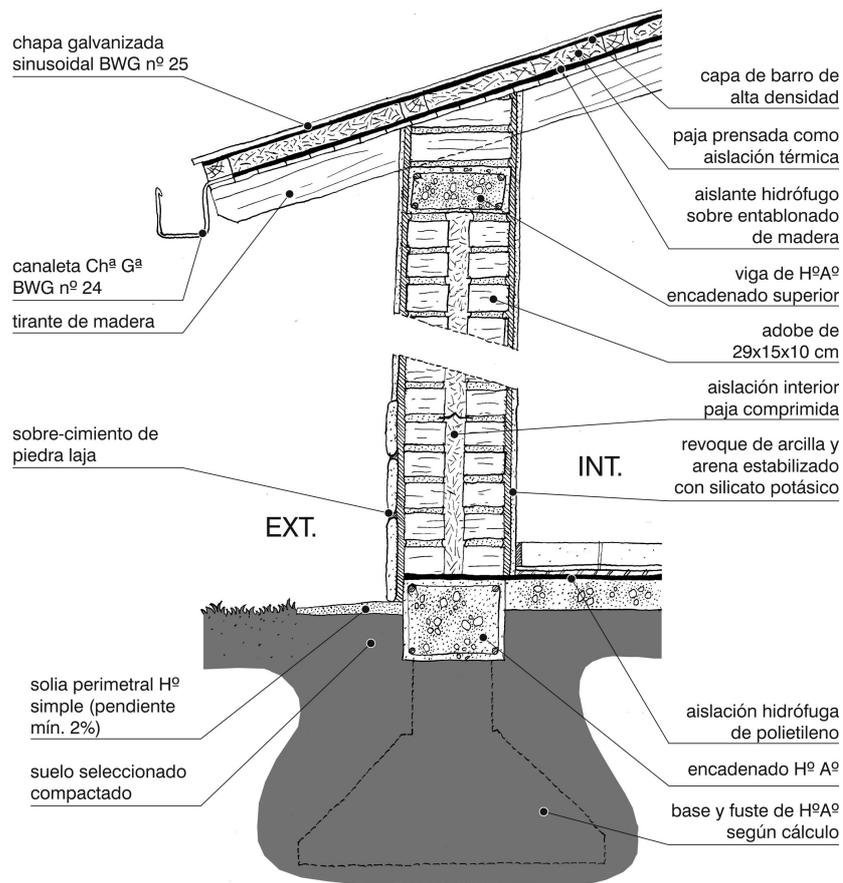


Figura 6. Corte del muro de adobe para la vivienda en Buenos Aires.

## 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 m<sup>3</sup> para Tucumán y 176,84 m<sup>3</sup> 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.

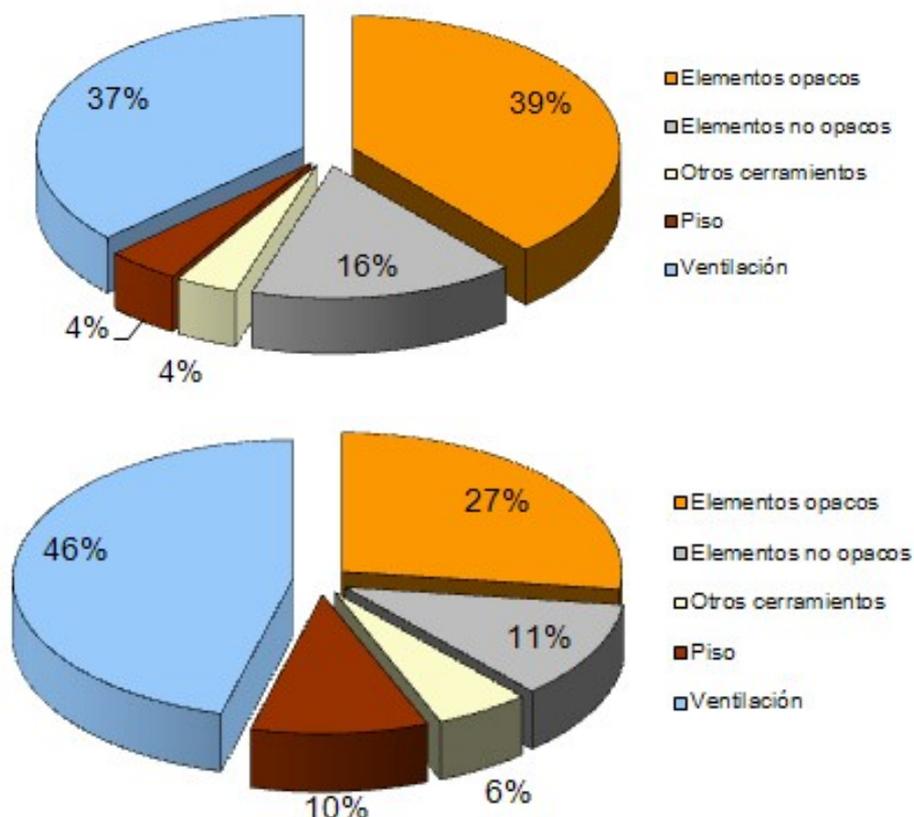


Figura 7. Gráficos de pérdidas volumétricas por transmisión e infiltración de aire para Tucumán (arriba) y Buenos Aires (abajo).

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%20%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](http://normas-iso.com/wp-content/uploads/2013/04/Huella_de_Carbono.pdf)