

EVALUACION INTEGRAL DEL COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO Y ENÉRGICO DE VARIANTES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN TIEMPOS CORTOS

Vicente Leonardo Volantino, Zulema Villarroel
Unidad Técnica Habitabilidad Higrotérmica, CECON, INTI
Casilla de correo 157 (1650) San Martín Prov. Buenos Aires ARGENTINA
Fax: (011) 4753-5784 - E-mail: vvolanti@inti.gov.ar, cecon@inti.gov.ar

RESUMEN

Se presenta la evaluación higrotérmica y energética de diferentes sistemas constructivos, que se brindan como alternativa para utilizar en modelos de vivienda de interés social, diseñados por el CECON-INTI, con el objeto de ofrecer una propuesta válida para la construcción de barrios o viviendas individuales, mediante la autoconstrucción asistida. Los sistemas constructivos seleccionados han sido sometidos a ensayos de resistencia mecánica (seguridad estructural), a la acción del fuego, higrotérmicos, etc. y los materiales componentes fueron evaluados experimentalmente, a fin de verificar su buen comportamiento. Esta presentación corresponde a la parte vinculada con el ahorro energético del trabajo original "Vivienda de Interés Social INTI". Para ello, se efectuó un cálculo del coeficiente volumétrico de pérdidas de calor de cada caso y se comparó el ahorro energético obtenido respecto de una vivienda similar construida con muros y techo, cuyos valores de transmitancia térmica son los referentes establecidos en la norma IRAM para nivel de confort higrotérmico mínimo.

PALABRAS CLAVE: Vivienda social, ahorro energético, performance higrotérmica.

INTRODUCCION

A partir de una nueva gestión en el INTI, se incorpora un nuevo rol al Instituto, que es el de ser el responsable tecnológico para procurar la integración de toda la comunidad al sistema productivo. Dentro de este marco, y considerando que existe un alto índice de desocupación y una caída importante en la actividad de la construcción; el CECON-INTI, propuso un proyecto integral, que mediante la construcción de viviendas de interés social cubra en parte, la necesidad de obras nuevas, genere empleo y produzca el efecto multiplicador que tiene la construcción, dentro de la economía general.

Considerando que ha habido un crecimiento importante en los últimos años de la existencia de viviendas precarias; conformadas por cuatro chapas y un techo, que cumplían con la finalidad de proteger el interior, del viento y de la lluvia, pero que no cumplían con las condiciones mínimas de aislación térmica: la temperatura externa es igual a la interna y como resultado se obtiene un ambiente frío. Si además de lo anterior, se considera que muchos habitantes, padecen deficiencia alimenticia se origina como resultado una situación muy difícil de sostener. Como tales materiales utilizados para la construcción son totalmente deficientes térmica y energéticamente; que la durabilidad y la seguridad son aspectos que no se toman en cuenta; etc., entonces, se propuso desarrollar el proyecto de la "Vivienda de Interés Social INTI" (Checmarew et al, 2003), empleando sistemas constructivos suficientemente probados mediante ensayos y evaluaciones en el CECON, que a su vez resultan apropiados para la construcción de barrios o viviendas individuales, generados mediante la autoconstrucción.

Para coordinar y asistir los distintos emprendimientos productivos, en el INTI, se creó un área especial, la Unidad de Apoyo a la Generación de Empleo Sustentable (UAGES), que cumple la importante función de articular a los diferentes protagonistas que participan en este tema; como ser la demanda orientada a través de Gobiernos Provinciales, Municipalidades, Cooperativas, O.N.G.; los fabricantes de materiales y sistemas para la construcción, la vinculación con ámbitos de financiamiento y la asistencia técnica por parte del CECON.

Una de las consignas básicas que impulsa este proyecto, es la de considerar que tanto para el diseño como la selección de los posibles sistemas constructivos, deben ofrecer una vivienda sencilla pero durable, que resulte una verdadera solución al problema habitacional y no una salida temporal. La primera intención, por razones económicas y de rapidez de ejecución, es poder pasar de una vivienda precaria a otra constituida por un sistema constructivo de baja transmitancia térmica. Que además, para atender a las necesidades básicas de convivencia familiar deben establecerse:

- Espacios definidos tanto privados como comunes.
- Servicios completos de luz, gas, electricidad, etc.
- Funcionalidad, con zonas de recepción y de servicios.
- Durabilidad de la vivienda, con larga permanencia en el tiempo.
- Seguridad estructural, contra el vandalismo y ante la acción del fuego.
- Sencillez constructiva para lograr la autoconstrucción, luego de una breve capacitación de los trabajadores.
- Habitabilidad, con adecuadas condiciones higrotérmicas y de aislación acústica.

- Versatilidad, que permita la ampliación, como por ejemplo del prototipo con un dormitorio que admitiría rápidamente la construcción de otros dos.
- Validez para combinar en el mismo barrio viviendas de 1 dormitorio y de 3 dormitorios con diferentes superficies cubiertas.
- Posibilidad de utilizar el mismo proyecto, para construir la vivienda aislada, como así también en complejos o barrios.
- Bajo mantenimiento.
- Economía, en el costo de materiales, en el ahorro de mano de obra (autoconstrucción), rapidez de ejecución, ahorro energético al utilizar sistemas que presentan aislación térmica.

DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS

Se diseñaron dos modelos de vivienda, el primero compuesto por estar-comedor + cocina + baño + lavadero + 1 dormitorio, con una superficie de 46 m² y el segundo por cocina-comedor, servicios y 3 dormitorios, con un área total de 63 m². Para facilitar el desarrollo de conjuntos habitacionales, los diseños se proyectaron en forma simétrica, teniendo igual ancho e igual frente. Por razones económicas se concentró el núcleo húmedo, que incluye el tanque de reserva y se minimizó las zonas de paso y circulación. La volumetría proyectada presenta cambios de planos y pendientes, para otorgar movimiento a la fachada y jerarquizar el acceso de las viviendas. Los anteproyectos en planta de 1 dormitorio y de 3 dormitorios y la vista del frente, respectivamente, se enseñan a continuación.

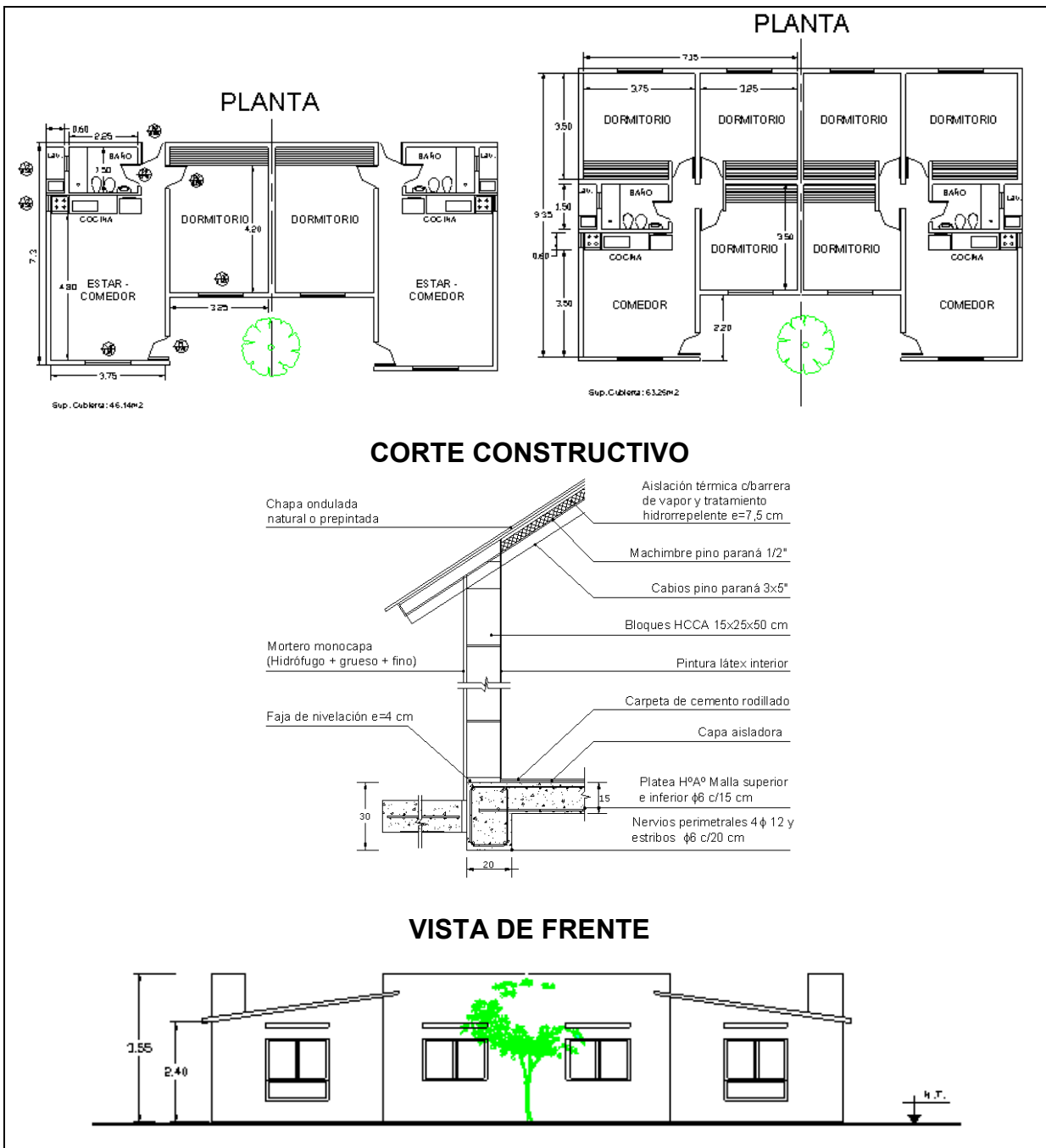


Figura 1: Plantas de prototipos de 1 y de 3 dormitorios, corte constructivo y vista de frente.

En la figura precedente, puede observarse la posibilidad de desarrollo a futuro que ofrece el prototipo de un dormitorio y que permite alcanzar un diseño similar al de cuatro ambientes.

Con el objetivo de evaluar diferentes sistemas constructivos, que fundamentalmente sean viables para autoconstrucción-asistida, se plantearon tres opciones, según el detalle de la Tabla I.

Sistema	S1	S2	S3
Fundación	Plata de hormigón	Plata de hormigón	Plata de hormigón
Muros exteriores:	Mampostería de bloques cerámicos portantes	Mampostería de Bloques de Concreto Celular Curado en Autoclave.	Mampostería de ladrillos comunes
Terminación exterior	Revoque hidrófugo monocapa	Revoque hidrófugo monocapa	Revoque hidrófugo monocapa
Terminación interior	Revoque monocapa	Pintura	Placa de yeso con aislación térmica de lana de vidrio
Cubierta:	Estructura de madera, machimbre, aislación térmica e hidrófuga y tejas cerámicas	Estructura de madera, aislación térmica con barrera de vapor y chapa metálica	Estructura de madera, machimbre, aislación térmica e hidrófuga y tejas cerámicas

Tabla 1: Sistemas constructivos analizados

ESTUDIO COMPARATIVO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

El comportamiento de la envolvente, en términos energéticos e higrotérmicos, están referidos habitualmente a su capacidad de obstaculizar el pasaje de energía térmica entre dos fluidos (aire) que aquella separa y a la capacidad de evitar la condensación del vapor de agua sobre su superficie o en su interior, para ciertas condiciones de temperatura y humedad relativa predeterminadas según una base técnica normativa. En este sentido, es importante conocer ciertas propiedades físicas de los materiales componentes del sistema constructivo, tales como la conductividad térmica y la permeabilidad al vapor de agua.

La conductividad térmica se determinó mediante el método de placa caliente con placa de guarda o con el método del medidor de flujo de calor, según corresponde, de los diferentes materiales intervinientes en cualquiera de las variantes de los sistemas constructivos. El ensayo de permeabilidad se realizó empleando un método normalizado, sobre cinco muestras idénticas.

Material	Conductividad térmica W/m ² .K	Permeabilidad al vapor de agua g/m.h.kPa
Hormigón (2400 kg/m ³)	1,75	0,02
Cerámico para bloques huecos	0,70	0,0082
Concreto Celular Curado en Autoclave (465 kg/m ³)	0,12	0,117
Ladrillo macizo (1600 kg/m ³)	0,81	0,09
Revoque hidrófugo monocapa	0,93	0,044
Revoque interior	1,16	0,037
Placa de roca de yeso	0,37	0,078
Lana de vidrio	0,04	0,50
Film de polietileno (barrera de vapor)	----	0,008
Madera	0,19	0,0225
Tejas cerámicas	0,70	0,0082

Tabla 2: Valores correspondientes a mediciones de los parámetros higrotérmicos de los materiales involucrados.

Se evaluó el comportamiento higrotérmico de los tres sistemas en estudio, de acuerdo a las normas de aislamiento térmico de edificios (IRAM 11601, 11603, 11605, 11625 y 11630), obteniéndose los resultados detallados en la Tabla 4, para muros y en la Tabla 5, para cubiertas. En las mismas, la verificación de riesgos de condensación se describe para diferentes valores de resistencia superficial interior (Rsi), las temperaturas superficiales interiores (Tsi) obtenidas.

Para ello, se adoptó a la localidad de San Miguel, como representativa del conurbano bonaerense, debido a que se disponen los datos estadísticos de las magnitudes climáticas. Las simulaciones numéricas se realizaron utilizando un conjunto de programas de cálculo basados en el método de elementos finitos, en que se consideraron para cada caso analizado las condiciones de borde que se describen en la Tabla 3.

Condiciones exteriores	T _{ext} = 1,3 °C	HRe = 90%	
Condiciones interiores (confort higrotérmico mínimo):	T _{int} = 18 °C	HRi = 71,1 %	T _{rocío} = 12,7 °C

Tabla 3: Condiciones de borde utilizadas en las evaluaciones teóricas

Sistema	S1 Bloques cerámicos portantes, revocados en ambas caras	S2 Bloques de concreto celular, revocados exteriormente	S3 Ladrillo común (e=0,15m), revoque exterior y aislación térmica con placa de yeso interior
Transmitancia Térmica	$K = 1,64 \text{ W/m}^2\text{K}$	$K = 0,69 \text{ W/m}^2\text{K}$	$K = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
Termografía en geometría tridimensional			
Nivel de Confort Higrotérmico: Límite Máximo Admisible de K	Mínimo	Medio	Medio
Riesgos de Condensación superficial	R_{si} T_{si} CONDENSA? 0,17 13,4 NO 0,25 12,0 SÍ* 0,34 10,8 SÍ* 0,50 9,25 SÍ* Tiene	R_{si} T_{si} CONDENSA? 0,17 16,1 NO 0,25 15,3 NO 0,34 14,6 NO 0,50 13,4 NO No tiene	R_{si} T_{si} CONDENSA? 0,17 16,3 NO 0,25 15,6 NO 0,34 14,9 NO 0,50 13,8 NO No tiene
Riesgos de Condensación Intersticial	 Tiene Condensación cíclica intermitente con alto porcentaje de reevaporación (90%)	 No tiene	 No tiene

Tabla 4: Comportamiento higrotérmico comparativo de muros

Sistema	S1 y S3 Tejas Con aislación de 7,5 cm de lana de vidrio	S2 Chapa metálica Con aislación de 7,5 cm de lana de vidrio
Transmitancia Térmica	$K = 0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$	$K = 0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$
Termografía en geometría bidimensional		

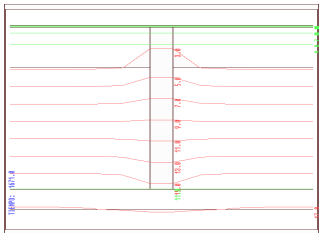
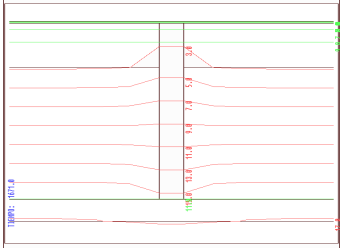
Nivel de Confort Higrotérmico: Límite Máximo Admisible de K	Medio	Medio
Riesgos de Condensación superficial	R_{si} T_{si} CONDENSA? 0,17 15,9 NO 0,25 15,0 NO 0,50 13,2 NO No tiene	R_{si} T_{si} CONDENSA? 0,17 15,8 NO 0,25 14,9 NO 0,50 13,1 NO No tiene
Riesgos de Condensación Intersticial	 No tiene	 No tiene

Tabla 5: Comportamiento higrotérmico comparativo de cubiertas

De los datos consignados puede inferirse, que los sistemas seleccionados tienen un buen comportamiento higrotérmico. Cabe aclarar, que los mismos también han sido ensayados a pruebas de resistencia estructural, al fuego y otras específicas relativas al material utilizado, las que pueden consultarse en el trabajo original [1], disponible en la página web INTI/CECON.

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Se utilizó el criterio de la Norma IRAM 11604, en lo que se refiere a la capacidad de aislamiento térmico global de la vivienda, mediante la determinación del coeficiente volumétrico de pérdidas de calor (G). Tal coeficiente G, se obtiene de la sumatoria de los productos de los valores de transmitancia térmica (K) del elemento constructivo, por el área que ocupa.

Debido a que se mantiene para todos los casos las mismas carpinterías (invariabilidad en el comportamiento térmico y en las pérdidas por infiltraciones de aire), entonces, el ahorro energético de la unidad habitacional, va a estar regido por la transmitancia térmica de sus cerramientos opacos exteriores (muros y techo). Esto significa que los sistemas S2 y S3 presentan una mejor performance que el S1, debido a la significativa diferencia entre los valores de K, que poseen.

Los resultados analíticos que se obtuvieron para cada sistema se presentan en la siguiente tabla, así como también, el correspondiente al modelo de vivienda construido con paredes y techo que posean la transmitancia térmica requerida por la Norma IRAM 11605, para el cumplimiento de las condiciones de confort higrotérmico mínimo, destacándose que todos los sistemas presentados se encuentran por debajo del máximo establecido. Se adoptó para el cálculo, el valor de 1045 °D (San Miguel, Prov. de Buenos Aires).

VIVIENDA 1 DORMITORIO Superficie : 46 m ² Volumen : 138 m ³		VIVIENDA 3 DORMITORIOS Superficie : 63 m ² Volumen : 189 m ³	
Sistema	G _{CAL} (W/m ³ K)	Sistema	G _{CAL} (W/m ³ K)
S1	1,77	S1	1,56
S2	1,28	S2	1,17
S3	1,23	S3	1,13
Referencia (según IRAM)	2,03	Referencia (según IRAM)	1,79

Tabla 6: Coeficiente volumétrico de pérdidas de calor calculado (G_{CAL})

AHORRO ENERGÉTICO

De acuerdo a lo expresado en los estudios higrotérmicos y energéticos, las alternativas S2 y S3 necesitarán un menor consumo de energía para calefacción de las viviendas que el S1.

Para el prototipo de un dormitorio ejecutado con un sistema constructivo según la referencia normativa para el nivel mínimo de confort higrotérmico, se obtuvo un valor de G de 2,03 W/m³.K. Utilizando uno de los sistemas constructivos propuestos se obtiene un beneficio en el gasto de energía respecto de aquel, cuyos porcentajes se pueden observar en la tabla siguiente:

VIVIENDA 1			VIVIENDA 3		
DORMITORIO			DORMITORIOS		
SISTEMA	G _{CAL} (W/m ³ K)	Mejora (%)	SISTEMA	G _{CAL} (W/m ³ K)	Mejora (%)
S1	1,77	13	S1	1,56	13
S2	1,28	37	S2	1,17	35
S3	1,23	39	S3	1,13	37

Tabla 7: Ahorro porcentual de energía para calefacción respecto del prototipo construido con sistemas constructivos de referencia normativa

Determinando la carga térmica anual de calefacción (IRAM 11604) y considerando a \$ 0,157 el costo del m³ de gas natural según datos obtenidos para la Provincia de Buenos Aires en zona residencial, el gasto anual por uso de energía para la vivienda de un dormitorio construida con el sistema de referencia normativa, es de \$ 102. Utilizando los sistemas propuestos se gasta aproximadamente \$ 89, \$ 64 y \$ 62, para los sistemas S1, S2 y S3, respectivamente:

CONCLUSIONES:

Del estudio realizado sobre el sistema de mejor performance integral, es importante destacar que:

- La evaluación higrotérmica respeta los requisitos de confort exigidos para las viviendas de “clase media”, muy superiores a los especificados para las de interés social. No habiéndose observado problemas de puentes térmicos, ni de condensación.
- El sistema es adecuado para la autoconstrucción por la precisión geométrica, la trabajabilidad y el bajo peso de los bloques, al igual que el resto de los materiales (madera, lana de vidrio en rollos y chapas metálicas).
- Se reducen los tiempos de obra, por la baja intervención de los materiales húmedos y por la facilidad de ejecución, especialmente de los muros.
- El costo de los materiales necesarios para construir, es de menos de \$250/m² y el consumo energético de la vivienda, para calefacción o refrigeración, es menor que cualquier sistema tradicional debido a su adecuada performance térmica.

De la estabilidad y características de los materiales utilizados, se infiere una vida útil similar al de la construcción tradicional y bajas erogaciones relativas a mantenimiento.

REFERENCIAS

Checmarew L., Volantino V., Oroz A. y Oghievski M. (2003), Vivienda de Interés Social INTI. Variantes para la construcción de viviendas en tiempos cortos. Publicación INTI-CECON disponible en la web.

IRAM 11559 (1994) Determinación de la resistencia térmica y propiedades conexas en régimen estacionario. Método de la placa caliente con guarda / ASTM C177, ISO 8302. Thermal insulation. Determination of steady-state and thermal resistance and related properties. Guarded hot plate apparatus

IRAM 1860 (2002) Método de ensayo de las propiedades de transmisión térmica en régimen estacionario, mediante el aparato de medición de flujo de calor / ASTM C518 , ISO 8301. Thermal insulation. Determination of steady-state and thermal resistance and related properties. Heat flow meter apparatus

IRAM 1735. (1992) Método de ensayo de la permeabilidad al vapor de agua de materiales de construcción / ASTM E-96 (1990)"Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials", Vol. 4.06, p 688-695

Normas de AISLAMIENTO TERMICO DE EDIFICIOS. IRAM 11601 (1996) Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario Métodos de cálculo, IRAM 11603. (1996) Clasificación Bioambiental de la Rep. Argentina., IRAM 11604 (1998) Ahorro de energía en calefacción. Coeficientes volumétricos G máximos admisibles de pérdida de calor, IRAM 11605 (1996). Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos, IRAM 11625 (2002) Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua, superficial e intersticial, en los paños centrales de muros, pisos y techos de edificios en general., IRAM 11630 (2002) 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.

Physibel –Consulting engineers. Research. Advice. Software (1996) Bélgica

ABSTRACT

We introduce an hygrothermal and energetic evaluation of different constructive systems, which are the alternative for using in social aspect-based dwellings designed by CECON-INTI, with the aim of offering a valid proposal for quarters or individual dwellings construction, through aided self-construction. The selected constructive systems were put under tests of mechanical resistance (structural safety), fire resistance, hygrothermal behavior, etc. And the material components were tested to verify their good performance. This presentation belongs to the energy saving aspect of the original work “ INTI Social aspect-based dwelling”. On behalf of this, a calculation was made to get a volumetric coefficient of heat loss for each case, and then we compared the energy saving related to a similar dwelling built with walls and roof whose thermal transmittance values are the ones referred in IRAM standards for a minimum hygrothermal comfort level.