

V3
N1

HS



Revista
Hábitat Sustentable

ISSN 0719 - 0707 / Vol. 3 Nº 1 enero 2013

V3N1



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

REVISTA HÁBITAT SUSTENTABLE

ENERO-JUNIO 2013

EDITORIAL

El equipo editorial de la Revista Hábitat Sustentable presenta un nuevo número que recoge resultados de investigaciones en materia de sustentabilidad del ambiente construido desde una perspectiva Latinoamericana, con artículos de Argentina, Brasil, México y Chile.

Los tres primeros artículos analizan distintas tipologías arquitectónicas desde un punto de vista energético, aportando conocimiento relevante a esta temática. El artículo *“Análisis simplificado de la eficiencia energética de una escuela rural en La Pampa – Argentina – a lo largo de su ciclo de vida”*, utiliza una metodología de análisis de ciclo de vida simplificado para comparar la energía consumida por una escuela rural construida con materiales tradicionales con una versión mejorada con estrategias pasivas, mientras que *“Bodegas sobresuelo y estabilidad térmica interior: análisis de envolventes tradicionales y contemporáneas en Mendoza, Argentina”*, analiza el comportamiento térmico de bodegas vitivinícolas, revisando aspectos de materialidad e inercia térmica. Ambos artículos ponen en relevancia el uso de materiales apropiados para mejorar el comportamiento térmico de las edificaciones y disminuir el consumo energético y las emisiones de CO2 asociadas, a través de propiedades de masa y aislación térmica. Por otro lado, el artículo *“Temperatura y rangos de confort térmico en viviendas de bajo costo en clima árido seco”* presenta los resultados de un exhaustivo trabajo de campo en viviendas localizadas en un clima asimétrico en México, donde se pueden observar las diferencias que se presentan entre los resultados de esta investigación con modelos de confort térmicos existentes en la literatura.

La relación entre las tipologías arquitectónicas y el clima local es analizada en los siguientes dos artículos que analizan el efecto de los elementos de control solar sobre el sobrecalentamiento y el deslumbramiento interior. El artículo *“Análise da utilização de prateleiras de luz em Vitória-ES, Brasil”* analiza, a través de simulación, el impacto de las repisas de luz sobre la distribución de la iluminancia en el espacio interior, mientras que el artículo *“Protecciones solares y su implicancia en la demanda energética: caso edificio público en Concepción, Chile”* propone una metodología para evaluar el impacto que tienen las protecciones solares sobre la demanda energética, comparando métodos simplificados y simulaciones. Finalmente, el artículo *“Aprovechamiento de la pomeca puzolánica en envolventes: desarrollo*

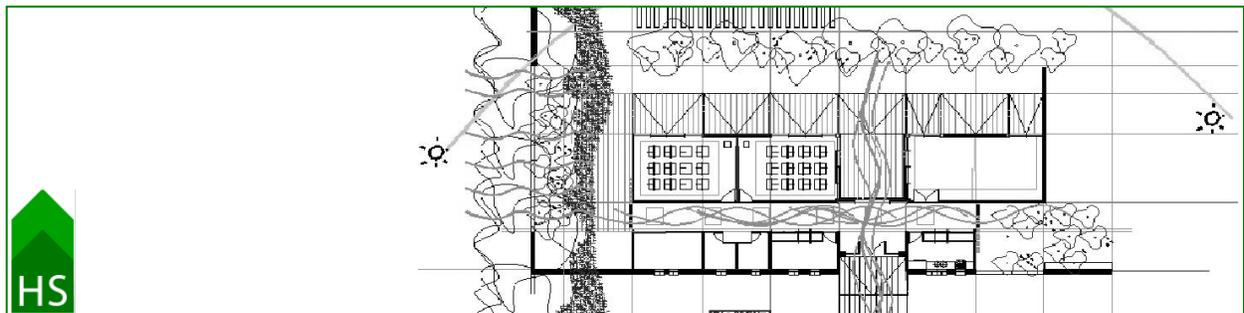
experimental de un panel termoaislante para viviendas en zonas áridas en Argentina” presenta el estudio de las propiedades térmicas de este material natural como alternativa a aislantes industrializados comunes.

El equipo editorial agradece una vez más a los autores por aportar a consolidar la revista como medio de diseminación de la investigación en Latinoamérica sobre temáticas relativas al hábitat sustentable, y destaca la calidad de los trabajos seleccionados. Quisiera también agradecer a los revisores por su invaluable aporte a la validación y corrección constructiva a los trabajos.

Dra. Maureen Trebilcock
Editora
Revista Hábitat Sustentable

Análisis simplificado de la eficiencia energética de una escuela rural en La Pampa – Argentina – a lo largo de su ciclo de vida

Simplified analysis of energy efficiency of a rural school in La Pampa - Argentina - during its Life Cycle



Mariela Inés Marcilese marielamarcilese@gmail.com

Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de La Plata – Argentina

Jorge Daniel Czajkowski czajko@yahoo.com

Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de La Plata – Argentina



RESUMEN

Palabras Claves
Eficiencia energética
Escuela rural
Ciclo de vida

El caso de estudio de este trabajo es una escuela rural de la zona pampeana argentina donde se compara la eficiencia energética de un sistema constructivo de uso tradicional local y su versión mejorada basada en sistemas de diseño pasivos, durante su ciclo de vida. Además, se estiman valores de ahorro de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en función de la matriz energética argentina. La eficiencia, en términos de energía de un edificio, involucra la totalidad del consumo para su fabricación (extracción, transporte y montaje de los materiales), la puesta en obra, el mantenimiento y el desmantelamiento, reciclado y tratamiento final de los residuos. Conocer estos datos en la etapa de anteproyecto puede considerarse ventajoso ya que permitiría evaluar los materiales elegidos en términos de ahorro de energía y costos a fin de lograr amortizar su valor durante la vida útil e incorporar otras alternativas de diseño. En la actualidad existen significativos problemas derivados de la escasez de recursos. La implementación del análisis del CV debería constituir un aporte revelador en el ámbito de la construcción respecto a la concientización sobre ahorro y eficiencia energética, y por lo tanto contribuir al desarrollo sustentable de las sociedades.

ABSTRACT

Key Words
Energy efficiency
Rural School
Life cycle

The case study of this work is a rural school in La Pampa Region of Argentina where the energy efficiency of a construction system of traditional local use is compared to that of its improved version, based on passive design systems during its life cycle. In addition, Greenhouse Gas Emissions saving values are estimated according to the energy matrix of Argentina. The energy efficiency of a building involves the overall consumption for its construction process (extraction, transport and assembly of materials), on-site installation, maintenance and dismantling, recycling and final disposal of waste. Knowing this data in the preliminary stage can be of benefit since it would allow to evaluate the selected materials in terms of energy saving and cost in order to recover its value during its life cycle and introduce other design alternatives. At present there are significant problems derived from resource shortage. The analysis of the LC should be a significant contribution to the construction field concerning the awareness of energy saving and efficiency and thus fostering sustainable development of society.

1. Introducción

Las ciudades son organismos que consumen recursos y producen residuos. Con los cambios

climáticos y la demanda de recursos siempre en aumento, el mundo ha entrado en un periodo de escasez (Rogers, 2003). Teniendo en cuenta la gran repercusión que la industria de la

construcción tiene sobre el ambiente, la arquitectura no puede quedar sólo limitada a ordenar espacios. Este desafío está obligando a los “arquitectos” a contribuir “con otras disciplinas” en la búsqueda de “sinergias” positivas entre los sistemas, minimización de impactos negativos, y “el objetivo” común de la sustentabilidad (Mora et al, 2011).

Los arquitectos debemos explorar tecnologías pasivas, energías renovables y apelar a nuestra “capacidad creativa” para multiplicar el potencial de los recursos (Filippin, 2005).

Al plantear un proyecto ambientalmente consciente se pretende que sea sensible a su entorno, que responda a las condicionantes climáticas y de emplazamiento, que utilice materiales de bajo contenido energético, consumo racional del agua, uso eficiente de la energía e incorporación de energías renovables y cuidado de la calidad del ambiente interior, etc. (Thermie, 2007).

Existen ejemplos de arquitectura escolar representativos de esta arquitectura tanto en el contexto mundial como en Argentina. Entre ellos, el caso de las residencias estudiantiles de la Universidad de Strathclyde en Glasgow, Inglaterra; que datan del año 1987, que incorporan un sistema solar pasivo como fuente de calor para conseguir el confort térmico en el interior de los locales. En Argentina se han construido escuelas que buscan integrar principios de respeto por el ambiente a los sitios pedagógicos tratando el contexto rural con el fin de reducir el impacto e incursionando en estrategias de acondicionamiento climático que reduzcan la demanda de energía para calentar o mantener fresco el edificio (Filippin, 2005).

El análisis de ciclo de vida de los materiales forma parte de los nuevos instrumentos metodológicos utilizados en los últimos años. Principalmente para abordar los posibles impactos ambientales. Por ejemplo, el uso de recursos naturales y las emisiones a la atmósfera, a lo largo del ciclo de vida de un producto, desde la adquisición de la materia prima, la producción, el uso, el tratamiento y disposición al final de su vida útil (Setac, 2010).

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis simplificado que permita comparar el Ciclo de Vida de una escuela rural ideal localizada en la provincia de Buenos Aires, Argentina, según

un sistema constructivo de envolvente tradicional local y su versión mejorada.

3. Metodología

La norma ISO 14040 (2006) establece que “el LCA (Life-cycle Analysis) es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”. El análisis del ciclo de vida (ACV), según la ISO 14040, consta de cuatro fases:

a. Definición de los objetivos y alcance: se establecen la finalidad del estudio y la magnitud, el producto implicado, etc.

b. Análisis del Inventario (Life Cycle Inventory LCI): el ACV implica una serie de procesos y sistemas conectados que generan flujos entrantes y salientes (extraídos del ambiente natural o bien emitidos a él); por lo que en esta etapa se calculan los requerimientos energéticos y la eficiencia energética, así como las emisiones producidas en cada uno de los procesos y sistemas. El ciclo de vida implica la definición explícita de las variantes en el tiempo como: durabilidad, facilidad de mantenimiento, posibilidad de reparación, la adaptabilidad, la capacidad de actualización, etc, así como las medidas de los impactos de los recursos, de constructibilidad, reciclaje, reutilización, etc. En esencia, disminución del confort, problemas de salud y menor durabilidad se originan en la falta de comprensión de las repercusiones que los flujos de energía tienen en un edificio (Mora et al, 2011).

c. Evaluación del Impacto (Life Cycle Impact Assessment- LCIA): según los resultados del inventario se realiza una clasificación en relación con efectos ambientales observables.

d. Interpretación de resultados: se realiza según los objetivos del estudio y a partir de allí se toman decisiones pertinentes.

Este método ha sido elaborado en función del sector productivo-industrial por lo que es necesaria su adaptación si se quiere trasladar al ámbito edilicio. Sin embargo, el ACV sigue una metodología determinada, pero capaz de permitir un análisis flexible y aplicable en diferentes áreas. En Argentina, el Dr. Ing. Pablo Arena es uno de

los investigadores que ha incursionado en el tema del ACV y ha sido de referencia para la realización de este trabajo (Arena, 2003). Sin embargo, es importante destacar que se realizó una versión simplificada de su metodología (Fig. 1).

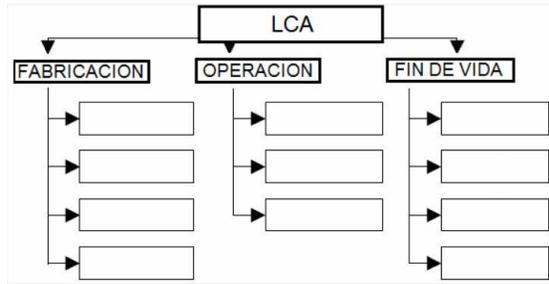


Figura 1: Esquema representativo del ciclo de vida. Fuente: Arena, 2009.

Figure 1: Representative diagram of the life cycle. Source: Arena, 2009.

Para lograr un análisis ordenado del CV del edificio se definieron cuatro etapas:

- a. Proyecto, donde se definen estrategias funcionales, espaciales y tecnológicas por materializar;
- b. Materialización, que involucra la energía necesaria para la construcción del edificio;
- c. Uso del edificio construido, donde se analiza la energía requerida para la utilización del mismo;
- d. Fin del CV, donde el objeto arquitectónico llega al final de su vida útil.

En este trabajo se hizo hincapié en el estudio de las etapas a, b y c del CV. Respecto de la etapa d se aclara que no existe en Argentina un sistema homologado y legislado para la recuperación y/o reuso de los materiales derivados de la demolición de edificios.

De acuerdo con la experiencia europea, la etapa final del ciclo de vida no suele superar el 5% de los impactos de la etapa de uso de un edificio existente (Nemry, et.al., 2010).

En la primera etapa se planteó un modelo de escuela rural incluyendo estrategias de diseño ambientalmente consciente (que tenga por objeto producir arquitectura sustentable) y recomendaciones sugeridas para esta región bioclimática.

Para la segunda etapa se realizó la determinación del contenido energético de los materiales de la envolvente utilizados generalmente en el ámbito local y de su versión mejorada, que incorpora medidas para el aumento de la eficiencia energética de la envolvente.

Es importante aclarar que en el caso de Argentina, la evaluación energética y ambiental de los materiales y componentes que intervienen en la construcción de un edificio es una tarea difícil de realizar ya que no hay datos disponibles. Por esta razón en este trabajo fueron tomados de bases españolas, específicamente de la Guía de Edificación Sostenible del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE (IDAE, 1999). Estos datos hacen referencia al contenido energético de los materiales en los procesos de extracción de la materia prima, fabricación, transformación, transportes asociados, puesta en obra, sin considerar, por ejemplo en los transportes, la parte proporcional de la energía invertida en la construcción y/o mantenimiento de las infraestructuras o medios precisos para ejecutarlos. Tampoco se contabiliza la energía humana utilizada en la mano de obra de los distintos procesos mencionados. Es sabido que en ciertos casos, éstos podrían ser datos poco representativos del ámbito local, sin embargo, no existe otra opción que utilizarlos para el presente trabajo y a medida que vayan apareciendo valores propios, se irán reemplazando y actualizando en futuras investigaciones.

Para la tercera etapa, se recurrió al software AuditCad (Czajkowski, 1999) que permite analizar mensualmente el comportamiento térmico y energético del edificio. Se requiere el ingreso de características del edificio como son el grado de ocupación, el nivel de iluminación, etc. Los resultados que el software arroja son la demanda de energía eléctrica, gas licuado de petróleo, distinguiendo la demanda con sol y sin sol (días nublados). Luego se exportaron los datos a una planilla de cálculo para su análisis. Estudios anteriores han concluido que el 80% del impacto total de los edificios se produce durante la etapa de operación-uso, altamente influenciada por la demanda de energía para calefacción (Wallhagen, et. al, 2011) (Dylewski y Adamczyk, 2011). Como se mencionó anteriormente, la fase 4 no ha sido tenida en cuenta.

3.1 Proyecto

En la fase inicial del proyecto es donde se encuentra el mayor potencial de optimización del edificio. Allí es donde se pueden tomar las decisiones más trascendentes y a bajo costo respecto de su eficiencia energética, en comparación con la adecuación del mismo durante su vida útil (Arena, 2003).

El modelo de escuela ideal se localiza en el área rural de Dolores (lat .36° long .57° - 6 msnm) provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig. 2).

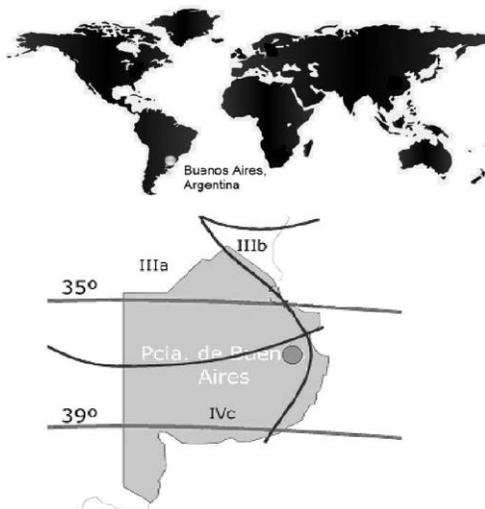


Figura 2: Argentina. Dolores, provincia de Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia con datos de IRAM 11603
Figure 2: Argentina. Dolores, province of Buenos Aires. Source: Own Elaboration with data of IRAM 11603

Esta región está clasificada como III-Templada cálida, subzona III-b cálida-húmeda. (Norma IRAM 11603), correspondiente a Cfa en la clasificación de Köppen. Se caracteriza por el alto nivel de humedad relativa (entre 70 y 85 %) y amplitudes térmicas menores a 14° C.

Para esta zona, existen recomendaciones de diseño a tener en cuenta:

- Orientación óptima NNO-N-NNE
- Utilización de colores claros. En techos, el doble de aislamiento térmico que en muros
- Terrazas jardín / Fachadas ventiladas / Carpinterías con protección solar móvil
- Verificar que en invierno se cumplan dos horas mínimas de sol en los locales principales
- Materiales recomendados con una masa térmica media de 200 a 300kg/m² (Czajkowski &

Gómez, 2009).

Las escuelas rurales más pequeñas suelen contar con 2 a 4 aulas, un salón de usos múltiples con un área de servicio de apoyo, sanitarios y una habitación para el maestro. En este caso se ha planteado también un depósito y una zona de huerta al aire libre. La escuela - de 225m² - se organiza en una planta de forma lineal y recibe la mejor orientación en la fachada longitudinal, hacia donde se ubican aulas y SUM (Salón de Usos Múltiples). Según funciones, la planta del proyecto se puede analizar en cuatro sectores:

- Circulación: doble crujía, con posibilidad de abrirse en sus extremos para lograr corrientes de ventilación que refresquen todo el edificio y es iluminado naturalmente en forma cenital.

- Zona de servicios (sanitarios, cocina, depósitos): orientados al sur. Posee una mínima superficie de ventanas y una protección de tierra natural que funciona como masa térmica. Sobre la cubierta, se ubican paneles de agua caliente solar, fotovoltaicos y tanques de agua.

- Aulas y SUM: poseen ganancia solar directa y sistemas solares pasivos para calentamiento del aire interior. Las carpinterías tienen incorporado un medio de ventilación independiente en la zona superior que permite regular las condiciones del aire interior. El control de la temperatura así como de la iluminación se consigue a través de una galería a lo largo de la fachada norte.

Espacios exteriores y patio interno: tienen en cuenta el confort visual general del edificio y a su vez, favorecen el confort térmico interior. Hacia el E y S se plantea vegetación de baja altura que no interfiere en el paso de los rayos de sol de la mañana y no den sombra. Al O y N se proponen árboles de mayor altura que protejan del sol y refresquen el área en épocas de calor, y actúen contrariamente en épocas frías. En el centro se propuso un patio interno para airear el corazón del edificio además de integrar los espacios adyacentes física y visualmente (Fig. 3 y 4).

3.2 Materialización

Para calcular la rentabilidad de una inversión, se debe determinar el periodo de amortización de la misma. Si se trata de un edificio, el objetivo es optimizar el valor del mismo durante su vida útil, teniendo en cuenta todos sus costes, tanto directos como indirectos.

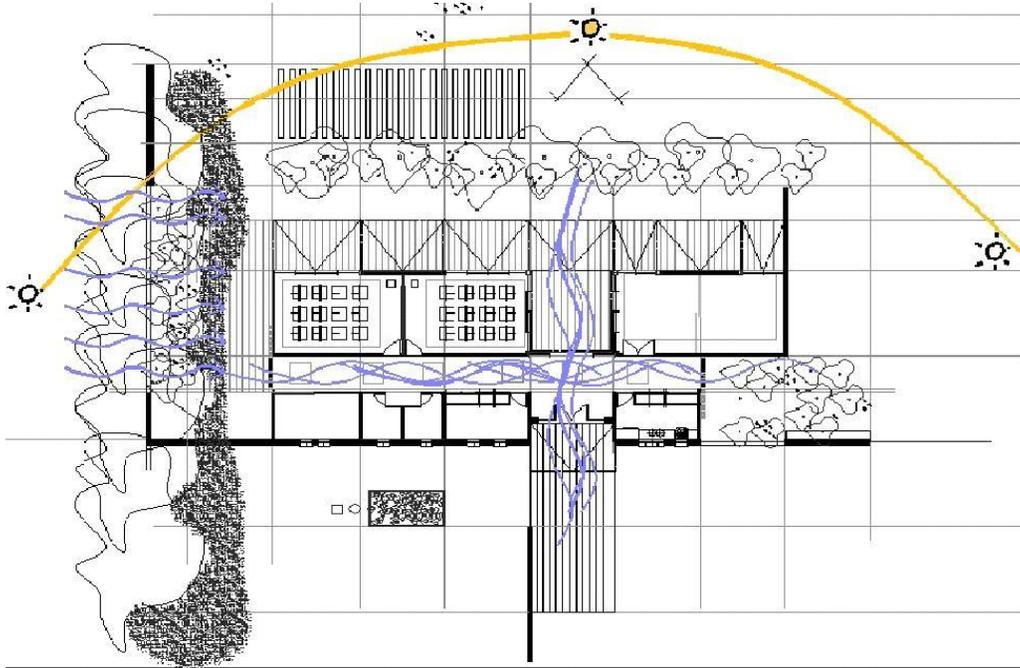


Figura 3: Modelo de planta de escuela ideal con principios de diseño ambientalmente consciente. Fuente: Marcilese y Czajkowski, 2009.

Figure 3: Ideal school floor plan with environmentally conscious design principles. Source: Marcilese y Czajkowski, 2009.

La selección de los materiales que integran un edificio influye profundamente tanto en el diseño como en el desempeño del mismo. Además, debe tenerse en cuenta que han consumido gran cantidad de energía aún antes de ser empleados en la construcción de una obra. Desde su extracción, transporte y proceso del material hasta su colocación (Utamaa y Gheewala, 2008).

- Cerramientos opacos: revoque exterior + mampostería de ladrillo hueco de 12cm + revoque interior $U=1,63 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Cerramientos vidriados: marco de aluminio + vidrio simple 5mm $U=5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Cubierta: chapa + aislamiento térmico con EPS (poliestireno expandido) esp.2.5cm + machimbre madera pino $U=0,72\text{W/m}^2\text{K}$

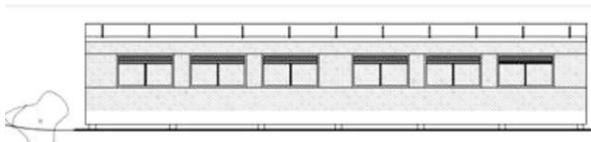


Figura 4: Modelo de fachada norte del sector de aulas. Relación vidrio / opaco = 0.22. Relación vidrio / sup. de local =0.13. Fuente: Marcilese y Czajkowski, 2009.

Figure 4: North side. Classrooms sector. Relationship glass / opaque wall = 0.22. Relationship glass / area =0.13. Source: Marcilese y Czajkowski, 2009.

3.2.1 Opción construida con materiales tradicionales locales (O1)

La elección de materiales se hizo basándose en el relevamiento del parque educativo actual y a partir de documentación gráfica facilitada por el Ministerio de Educación de la Provincia de Buenos Aires.

3.2.2 Opción mejorada (O2)

En cuanto a la elección de los materiales y sistemas constructivos, un edificio ambientalmente consciente busca aquellos con menor contenido energético y mayor rendimiento térmico (Thermie, 2007). Estas propiedades se encuentran a partir del análisis de su proceso de fabricación, que como ya se ha señalado, es materia pendiente en nuestro país y entonces, esta información debe tomarse de bases de datos externas.

Por otro lado, en Argentina, la Norma IRAM 11.605 establece parámetros de confort térmico. La Ley 13059/03 Decr.1030/10 establece el nivel B como admisible. Para invierno, nivel B 20°C y nivel A 22°C . La aplicación de aislamiento térmico en la envolvente está considerada como una de las formas de ahorro de energía térmica y

por lo tanto, más eficaz la en función de la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera (Dylewski y Adamczyk, 2011). Otros estudios encuentran que las mayores reducciones en el consumo de energía se deben tanto al aumento del aislamiento térmico como a la implementación de ventanas con mejores valores de U (Wallhagen, et. al, 2011).

Los materiales que se proponen en este sistema constructivo mejorado, ubicarían a la escuela entre las categorías A y B que propone la norma citada.

- Cerramientos opacos: revoque exterior + mampostería de ladrillo hueco de 12cm + aislamiento térmico con EPS esp. 5cm + mampostería de ladrillo hueco de 8cm + revoque interior $U=0.41W/m^2K$

- Cerramientos vidriados: marco de aluminio + doble vidriado hermético (DVH) $U=2,85 W/m^2K$

- Cubierta: chapa + aislamiento térmico con EPS esp.10cm + cámara de aire $U=0.39W/m^2K$

Según la Norma IRAM 11549, el coeficiente K o U de transmitancia térmica, indica el flujo de calor a través de la unidad de superficie de un elemento constructivo sujeto a una diferencia de temperatura del aire en ambos lados del elemento de 1° C, y se calcula de acuerdo con el método y las características térmicas de materiales y capas constructivas indicados en la norma IRAM 11601.

3.2.3 Sistema de iluminación

En Argentina, se establecen en la norma IRAM AADL J20-06 los niveles de iluminación mínimos para más de 200 actividades según tipo de edificio, local y tarea visual por desarrollar. Dicha norma data del año 1972 y fue reeditada sin modificaciones en 1996 (Pattini, 2000). Los valores allí establecidos para iluminación en escuelas se encuentran cerca de los 500lux. Se consideraron lámparas de bajo consumo tanto en aulas como en servicios, corredores y SUM, para definir la potencia de iluminación.

3.2.4 Sistema de calefacción

En Argentina, el sistema de calefacción generalizado es el de tiro balanceado. Se trata de un equipo que consiste en una cámara de combustión estanca que intercambia aire y gases de combustión con el ambiente exterior, y sólo calor con el ambiente interior de la vivienda a través de sus superficies. Estos equipos tienen la

ventaja de no consumir oxígeno ni aportan gases de la combustión al ambiente interior. La eficiencia térmica de calor transferido al ambiente se encuentra entre el 40 % y el 60 % (González y Juanicó, 2008).

3.3 Uso del edificio construido

Las condiciones climáticas y las características tecnológicas de un edificio determinan la cantidad de energía necesaria para acondicionar sus ambientes, tanto en épocas de frío como de calor. Para maximizar el confort, y predecir y prevenir situaciones no deseables, es prudente conocer el posible comportamiento térmico del mismo y los requerimientos de energía (Filippín, 2005).

Las escuelas rurales en Argentina no suelen estar conectadas a todos los servicios por sistema de red. En esos casos se abastecen por otros medios. En el presente caso, se analizó la escuela suponiendo que sí está conectada a la red eléctrica, pero que el sistema de calefacción se abastece con gas licuado de petróleo (GLP).

Como se ha dicho anteriormente, se utilizó el software AuditCad para estimar los consumos de energía (electricidad para iluminación y gas para cocción de alimentos y calefacción) suponiendo que la totalidad de los ambientes de la escuela se encontraban en condiciones de confort. Los parámetros involucrados en el análisis fueron:

- Compacidad: 0.44
- Factor de forma: 0.84
- Factor de exposición: 0.72
- Temperatura media exterior: 10° C
- Temperatura interior de diseño en aulas: 20° C
- Temperatura interior de diseño en zona de servicios, corredor y SUM: 18° C
- Ganancias internas x ocupación: 52 personas
- Ganancias internas x iluminación: 400 lux = 16W/m² en aulas, 250 lux = 10W/m² en servicios, corredor y SUM.

4. Resultados

Se analizaron los consumos energéticos en las diferentes etapas del ciclo de vida del edificio y las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera, según el sistema constructivo tradicional y la

versión mejorada. Además, las pérdidas que se generan a través de las envolventes y los aportes de los factores que conforman carga térmica de la escuela.

4.1 Etapa de construcción. Requerimiento de energía (EE) y emisiones de CO₂ (CO₂E)

Se realizó el cálculo del contenido energético a partir de la mencionada base de datos, que involucraría la construcción de la escuela utilizando tanto las formas constructivas tradicionales locales como su versión mejorada. El análisis se hizo por m² total construido (Tabla 1).

Tabla 1: Etapa de construcción. Energía requerida por m². Fuente: Elaboración propia según datos de IDAE, 1999
Table 1: Construction stage. Embodied energy by m². Source: Own Elaboration with data from IDAE, 1999

Rubro	EEO1		EEO2	
	kW/m ²	%	kW/m ²	%
Estructura H°A	0,125	38,344	0,125	35,311
Cubierta	0,033	10,123	0,038	10,734
Muros	0,136	41,718	0,157	44,350
Carpinterías	0,002	0,613	0,002	0,565
Vidrio	0,030	9,202	0,032	9,040
Totales	0,326	100,000	0,354	100,000
Diferencia			0,03 kW/ m ²	8%

Desde el siglo XIX, las emisiones de dióxido de carbono CO₂ a la atmósfera han ido aumentando exponencialmente. Parte importante de este aumento se debe a la quema de combustibles fósiles (IPCC, 2007). En la industria de la construcción se emplea este recurso como una de las principales fuentes de energía, por lo tanto implica la revisión de cómo se diseñan y construyen los edificios (Edwards, 2008). Se realizó el análisis de las emisiones de CO₂ proyectadas al ambiente que esta escuela generaría con ambas formas de construir. Para esto se utilizó el programa de cálculo creado por la US Environmental Protection Agency (EPA) con la matriz energética argentina (González, 2010). Al respecto debemos decir que los valores que brinda la calculadora de la EPA ("Greenhouse Gas Equivalencies Calculator", 2012) son para la matriz energética de los EE.UU., donde gran parte de la generación eléctrica es por carbón. En Argentina, la fuente de generación eléctrica más difundida es la hidroeléctrica, que aproximadamente es un 50% más limpia. Para utilizar la calculadora se debe indicar un valor referido por ejemplo a: "litros de gasolina consumidos", "kWh de electricidad", "termias de gas natural", etc., y automáticamente se obtiene

el resultado en dióxido de carbono o CO₂ equivalente. En nuestro caso, los resultados fueron:

$$ECO_2O1 = 0.27 \text{ TnCO}_2/\text{m}^2$$

$$ECO_2O2 = 0.31 \text{ TnCO}_2/\text{m}^2$$

4.2 Etapa de uso. Demanda potencial de energía (EE) y emisiones de CO₂ (CO₂E)

Con el software AuditCad se calculó la demanda potencial de energía estimando un período de 50 años de vida útil del edificio. Y en relación a ello, las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera utilizando el programa de la EPA antes mencionado. Es importante aclarar que no se consideró la energía requerida para el mantenimiento ni reposición de elementos constructivos durante el período de uso. En estudios previos sobre ACV se considera período de 50 años de vida de los edificios. El objetivo es generalizar un factor de realidad que varía según el tipo de construcción, materiales, etc. (Wallhagen, et. al., 2011). Si pensamos en las escuelas, es probable que en 50 años se generen grandes modificaciones en el edificio, pero teniendo en cuenta casos analizados en nuestro país, siempre se trata de ampliaciones de la escuela original, por lo tanto, consideramos válido tomar 50 años como período de vida útil.

$$EEO1 = 29058 \text{ kWh/m}^2 \times 50 \text{ años}$$

$$CO_2EO1 = 11,65 \text{ TnCO}_2/\text{m}^2 \times 50 \text{ años}$$

$$EEO2 = 9892 \text{ kWh/m}^2 \times 50 \text{ años}$$

$$CO_2EO2 = 3,8 \text{ TnCO}_2/\text{m}^2 \times 50 \text{ años}$$

4.3 Resumen. Demanda potencial de energía y emisiones de CO₂ durante el ciclo de vida

En la tabla 2 puede observarse que respecto de la etapa de construcción (inicial), la energía requerida y las emisiones de CO₂ varían ligeramente en ambas opciones. Pasado un año de uso de la escuela, comienza a notarse la disminución tanto en el consumo de energía como en las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera al aplicarse las mejoras. Esta diferencia, del 66%, se mantiene constante a lo largo de toda la vida útil del edificio, resultando un consumo aproximadamente 3 veces menor con la O2 y en forma proporcional, la diferencia de emisiones a la atmósfera.

Durante la etapa de funcionamiento del edificio, el consumo estimado de energía eléctrica

se mantendría igual, tanto en el caso tradicional como en el mejorado ya que no se propusieron modificaciones respecto del sistema de iluminación. Respecto del consumo de energía para calefacción sí se registraron cambios debido al mejoramiento de la envolvente. Los valores corresponden a un período anual (Fig. 4).

Tabla 2: Comparación. Energía requerida y emisiones de CO₂ durante el ciclo de vida (Elaboración propia según: EPA
Table 2: Comparison between embodied energy and CO₂ emissions during the life cycle. Source: Own Elaboration

Hora	O1	O2	Dif.
Energía requerida (hora) kW/m ²	326	354	8%
Emisiones de CO ₂ (TnCO ₂ /m ²)	0,27 TnCO ₂ /m ²	0,31	11%
Año	O1 por año	O2 por año	Dif.
Energía requerida (hora) kW/m ²	581,14	197,80	66%
Emisiones de CO ₂ (TnCO ₂ /m ²)	0,22	0,075	66%
50 Años	O1 por 50 años	O2 por 50 años	Dif.
Energía requerida (hora) kW/m ²	29058	9892	66%
Emisiones de CO ₂ (TnCO ₂ /m ²)	11,65	3,8	68%

Se analizó la escuela según la O1 y O2. Cada caso se supuso implantado según una orientación favorable (con sol) y desfavorable (sin sol). Se observa, que durante el período de mayor necesidad de calefacción (época de frío, entre julio y agosto), la disminución del consumo de LPG con el sistema mejorado es significativa. En los meses de menor requerimiento de calor, con la O1 existe una intensidad de consumo ascendente y mientras que la misma disminuye con la O2. Entre ambas opciones existe un

desfase temporal: con la O2 se retrasa 30 días el encendido (teórico) del sistema de calefacción para lograr un nivel de confort (Fig. 5).

A partir de los datos obtenidos con la figura 4 y los GDC18 de la localidad de Dolores, se elaboró el índice de consumo de LPG en Argentina:

$$ICLPG = 0,025 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{y} \cdot \text{°D}$$

4.4 Análisis de las pérdidas generadas en la envolvente

En el caso de la escuela tradicional, las pérdidas a través de la envolvente se distribuyeron de la siguiente manera:

- Cubierta: 39% (762W/°C)
- Renovaciones de aire (2RA): 22% (426W/°C)
- Muros: 14% (270W/°C)
- Ventanas: 18% (342W/°C)
- Puertas: 3% (54W/°C)
- Pisos: 4% (86W/°C)

En el caso mejorado, las pérdidas se distribuyeron de esta manera:

- Cubierta: 10% (87W/°C)
- Renovaciones de aire (2RA): 49% (426W/°C)
- Muros: 7% (60W/°C)
- Ventanas : 18% (161W/°C)
- Puertas : 6% (54W/°C)
- Pisos : 10% (86W/°C)

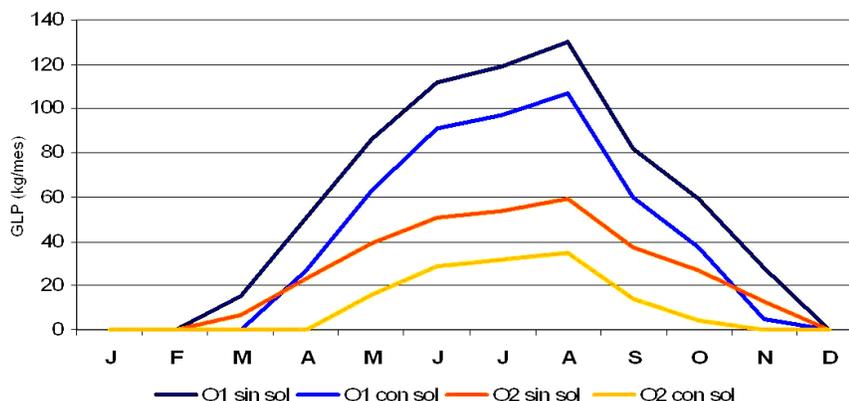


Figura 5: Comparación. Consumo de LPG (kg/mes) durante un año de funcionamiento del edificio escolar. Fuente: Elaboración propia.

Figure 5: Comparison. Consumption of LPG (kg/month) over a year of a school building usage. Source: Own Elaboration.

En Argentina, sólo se contempla la ventilación natural no existiendo antecedentes normativos para uso de intercambiadores de calor y emisiones de CO₂ en edificios escolares.

La figura 6 muestra la diferencia de pérdidas entre el sistema tradicional y mejorado. Se observa que la zona crítica de la envolvente es en la cubierta. Al aplicar las mejoras en el sistema constructivo, se genera una reducción de siete veces en la capacidad de pérdidas por techos. Esta reducción de pérdidas también se refleja en la envolvente vertical opaca, y en menor medida, en cerramientos vidriados.

Se analizaron los factores que conforman la carga total del edificio (Fig. 7 y 8). Del balance, se obtiene que con la O1, el aporte por demás significativo es el del gas envasado debido a las necesidades de calefacción de la escuela. Mientras que en el caso mejorado, los aportes de gas disminuyen debido a una optimización de la envolvente y se nivelan con las cargas por ocupación, resultando una situación general más equilibrada.

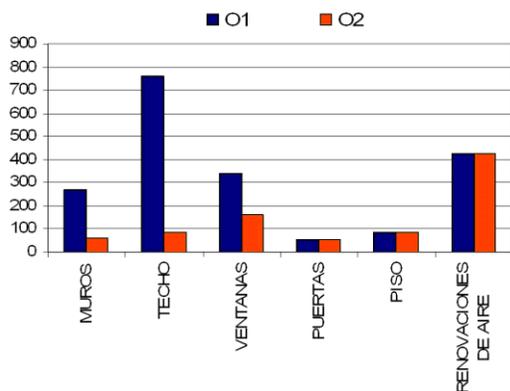


Figura 6: Diferencia de pérdidas por envolvente. Fuente: Elaboración propia.

Figure 6: Difference of loss through the envelope. Source: Own Elaboration.

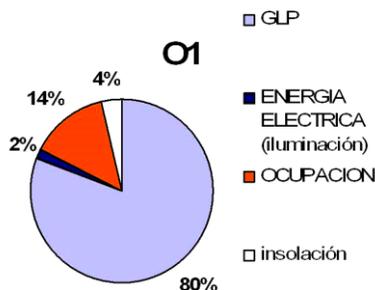


Figura 7: Datos cargados en el AuditCAD para el edificio modelado. O1=581.14 kWh/m2.y. Fuente: Elaboración propia.

Figure 7: Data uploaded to the AuditCAD for the building design. O1=581.14 kWh/m2.y. Source: Own Elaboration.

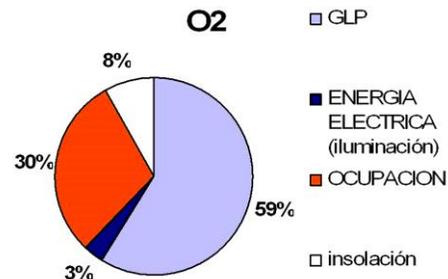


Figura 8: Datos cargados en el AuditCAD para el edificio modelado. O2=197.8 kWh/m2.y. Fuente: Elaboración propia.

Figure 8: Data uploaded to the AuditCAD for the building design. O2=197.8 kWh/m2.y. Source: Own Elaboration.

5. Conclusiones

Hacer un análisis de consumos y ahorros a partir del conocimiento del ciclo de vida de un edificio es beneficioso tanto en materia energética, como ambiental y económica a largo plazo, este último factor, sobre todo si consideramos las variaciones de los precios de la energía, siempre en aumento.

A partir de los resultados se puede deducir que incorporar mayor cantidad de aislamiento térmico en la envolvente reduciría las necesidades de calefacción y refrigeración con los consecuentes ahorros económicos y propiciaría un mayor equilibrio entre las pérdidas y ganancias de calor.

Las estrategias implementadas en la versión constructiva mejorada (período de pre-ocupación) son medidas de factible aceptación por parte de los profesionales de la construcción y manejo de la mano de obra, por lo que resultaría viable la implementación de aquellas en los edificios escolares de la región.

El aumento del consumo energético y mayores emisiones de CO₂ que surgen con la versión mejorada en la etapa de pre-ocupación, resultan poco significativos si se tiene en cuenta la energía que esa escuela consumiría durante los próximos 50 años de vida útil (aproximadamente la tercera parte de la que se consumiría con la opción tradicional).

A partir de las variables analizadas podrían justificarse las propuestas de mejoramiento, pero sería pertinente complementar este trabajo a partir de un análisis de costos y período de amortización.

Sería de gran valor que en Argentina comenzaran a realizarse evaluaciones de calidad

en los elementos constructivos y así poder lograr una base de datos con sus propiedades de acuerdo con los diferentes procesos de fabricación que permitan ser utilizados en evaluaciones del ciclo de vida en lugar de tener que recurrir a información de otros países.

Con este análisis simplificado del CV se pueden obtener ideas para reducir consumos de energía y emisiones de CO₂, reducir o fomentar el uso de determinados materiales y tener una noción general del comportamiento de un edificio. Todo esto en poco tiempo y a bajo costo.

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer a la Arq. María Belén Salvetti por su colaboración en los cálculos con el programa AuditCad, de gran importancia para el desarrollo de este trabajo. Además, quisiéramos destacar que este trabajo se desarrolla gracias al proyecto de investigación U102 financiado por la UNLP y en el marco de una Beca doctoral otorgada por CONICET.

Referencias Bibliográficas

- Arena, Pablo y De La Rosa, Carlos, (2003). Life Cycle Assessment of Energy and Environmental Implications of the Implementation of Conservation Technologies in School Buildings in Mendoza—Argentina. *Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications*. 38, (2), 359-368.
- Arena, Pablo (2005). *Análisis del Ciclo de Vida del Edificio y Sustentabilidad Ambiental de los Edificios. Experiencias en Argentina*. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. Argentina.
- Arena, Pablo (2009). Evaluación comparativa de turbinas eólicas de gran potencia empleando metodología de análisis de ciclo de vida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13.
- Camboim Salatino, Renata y Sattler, Miguel Aloisio. (2009) “Análise comparativa do comportamento térmico de salas de aula de duas edificações escolares distintas, no período do solstício de verão”. *ELECS. Sustentabilidade do ambiente construído. O que voce tem com isso?*
- Czajkowski, Jorge. “Programa AuditCad para el Análisis del Comportamiento Energético Edificio Basado en Auditorías Energéticas y de Confort”. *V Encontro de Conforto no Ambiente Construído*. 6 págs. CD. Brasil, 1999.
- Czajkowski, Jorge. y Gómez, Analía. (2009) *Arquitectura Sustentable*. Editorial Clarín.
- Dylewski, R. y Adamczyk, (2011) J. Economic and Environmental Benefits of Thermal Insulation of Building External Walls. *Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications*, 46, 2615-2623.
- Environmental Protection Agency. “Greenhouse Gas Equivalencies Calculator”. Ultimo acceso: 18-4-13. Disponible en: <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html>
- Filippin, C. (2005) Thermal Response of Solar and Conventional School Building to Design-and- Human-Driven Factors. *Renewable Energy* 30, 353-376.
- González, Alejandro. (2010) Comparación de energías y gases de efecto invernadero en calentamiento de agua para cocción de alimentos con electricidad y gas natural. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- González, Alejandro; Juanicó, L y Gortari, S. (2008) High-Efficiency Prototypes of Commercial Gas Heaters Extensively Used in Argentina. *Science Direct. International Journal of Hydrogen Energy*, 33.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, Ministerio de Fomento y Fundación Privada Institut Idefons Cerdá. (1999). *Guía de edificación sostenible. Calidad energética y medioambiental en edificación*. España.
- IRAM Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Serie de normas sobre acondicionamiento térmico de edificios; 1990-1999: IRAM 11549. “Aislamiento Térmico de Edificios”; IRAM 11601. “Método de cálculo de la resistencia térmica de muros y techos”; Buenos Aires; IRAM. 11900. “Etiqueta de Eficiencia Energética de Calefacción para Edificios”. www.iram.org.ar
- ISO14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and Framework.
- Marcilese, M y Czajkowski, J. Pautas de diseño ambientalmente consciente para escuela rural en microclima platense. (2009). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 13*, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184
- Nemry, F; Auihleina, A, Colodel, C; Wetzel, C; Braune, A; Wittstock, B; Hasanc, I; Kreiřsig, J; Gallond, N; Niemeier, S y Frechc, Y. (2010). Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union—Potential and costs. *Energy and Buildings* 42, 976 - 984.
- Pattini, Andrea. (2005) Recomendaciones de Niveles de Iluminación en Edificios no Residenciales. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9,
- Rogers, Richard. (1993) *Ciudades para un Pequeño Planeta*. Australia.
- Rosenfeld, E; Díscoli, C. Y Romero, F. (1977) *Edificios Inteligentes*. Argentina.
- Thermie. (2007) *Un Vitruvio Ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona. España.
- Utamaa, A. y Gheewala, S. (2008) Life cycle energy of single landed houses in Indonesia. *Energy and Building*, 40, 1911-1916.
- Wallhagen, M; Glaumann, M y Malmqvist, T (2011)

Basic Building Life Cycle Calculations to Decrease Contribution to Climate Change e Case Study on an Office Building in Sweden. *Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications*, 46, 1863-1871.

Zabalza Bribián, I.; Valero Capilla, A. y Aranda Usón, A. (2011) Life Cycle Assessment of Building Materials:

Comparative Analysis of Energy and Environmental Impacts and Evaluation of the Eco-efficiency Improvement Potential. *Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications*, 46, 1133-1140.

Recibido: 19|04|2012
Aceptado: 02|04|2013

Bodegas sobresuelo y estabilidad térmica interior: análisis de envolventes tradicionales y contemporáneas en Mendoza, Argentina

Above-ground wineries and interior thermal stability: traditional and contemporary envelope analysis in Mendoza, Argentina



Carolina Ganem Karlen cganem@mendoza-conicet.gov.ar
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda INCIHUSA – Proyectos de Carreras de Diseño - Universidad Nacional de Cuyo - Argentina

Helena Coch Roura helena.coch@upc.edu
Construccions Arquitectòniques I – Universitat Politècnica de Catalunya - España



RESUMEN

Palabras Claves

Estabilidad térmica
Envolventes tradicionales
Envolventes contemporáneas
Bodegas sobresuelo
Bodegas subterráneas

El control en el intercambio de flujos energéticos interior-exterior y la inercia térmica de los materiales constructivos son características claves de la envolvente de los edificios de bodegas. Esta situación es particularmente importante en el caso de los edificios construidos sobresuelo en climas con temperaturas diarias y estacionales muy variables. En el caso de que la arquitectura no provea la respuesta adecuada, indefectiblemente se recurre al consumo de energía auxiliar. La bodega S.A., ubicada en Mendoza, Argentina, consume energía auxiliar equivalente a 2.500 kW por año. Dicha bodega sobresuelo presenta dos tipos de envolvente vertical: una tradicional en adobe ($\lambda = 0.81\text{W/mK}$) y otra contemporánea en chapa galvanizada sin aislación ($\lambda = 45\text{W/mK}$). El objetivo de este trabajo es analizar los aspectos de materialidad, inercia térmica e intercambio de flujos energéticos de envolventes tradicionales y contemporáneas y, comparar los resultados obtenidos con un caso teórico de bodega subterránea. Entre los resultados obtenidos se observa que la envolvente tradicional mantiene las temperaturas interiores entre 8,5 °C y 10 °C por debajo de las temperaturas exteriores, mientras que los nuevos espacios con envolventes contemporáneas lo hacen solamente 3 °C a 5 °C por debajo de las temperaturas exteriores. En el caso de una bodega subterránea, las temperaturas estarían estables durante el año en 16,5 °C; esto es, en verano, 20 °C por debajo de las temperaturas exteriores.

ABSTRACT

Key Words

Thermal stability
Contemporary envelopes
Traditional envelopes
Above-ground wineries
Underground wineries

Energy flux exchange control between interior and exterior and thermal inertia of constructive materials are key characteristics of the envelope in winery buildings. This situation is particularly important in the case of above-ground buildings in climates with very variable daily and seasonal temperatures. In the case that architecture fails to provide the necessary answer, auxiliary energy is consumed. S.A. winery, located in Mendoza, Argentina consumes auxiliary energy equivalent to 2.500 kW per year. The mentioned a traditional adobe envelope ($\lambda = 0.81\text{W/mK}$) and a contemporary galvanized steel envelope without insulation ($\lambda = 45\text{W/mK}$). The aim of this paper is to analyze materiality, thermal inertia and energy flux exchange of traditional and contemporary envelopes and to compare the obtained results with a theoretical case of an underground winery. Among the results, it can be observed that traditional envelope maintains interior temperatures between 8,5°C and 10°C bellow exterior temperatures, while new spaces with light contemporary envelopes do it only 3°C to 5°C bellow exterior temperatures. In a subterranean winery, in Mendoza, temperatures will be stables around 16,5°C; that is, in summer, 20°C bellow exterior temperatures.

1. Introducción

El vino ha sido el eterno migrante desde el Mediterráneo occidental hasta llegar a América y todos sus rincones. Es por ello que la actividad vitivinícola en Cuyo está enraizada con una cultura milenaria, que adopta en cada lugar y en cada momento características propias y diferenciadoras (Riviera Medina, 2006).

La vid se cultiva principalmente entre los paralelos 40° y 50° latitud Norte y entre los paralelos 30° y 40° latitud Sur. La región argentina de Cuyo, particularmente la provincia de Mendoza, se encuentra ubicada entre los paralelos 30° y 35° latitud sur. Esta región es justamente idónea para el cultivo de la vid debido a la gran amplitud térmica diaria y estacional (Ganem, et. al., 2012). Ahora bien, estas características climáticas proveen de una materia prima de excepcional calidad y, a la vez, se transforman en una exigencia fundamental en el ámbito constructivo vitivinícola. En una bodega, contrariamente a la situación climática ideal para el cultivo de la vid, existe una necesidad constante de temperaturas estables. Un cambio térmico abrupto puede poner en riesgo el proceso productivo completo.

Por estos motivos, las bodegas primitivas eran cuevas subterráneas, es decir, un espacio vacío encontrado o excavado en la tierra compacta y sólida. Cuando las primeras bodegas sobre rasante fueron construidas, la creación del espacio vacío de la manera más económica posible, muchas veces dejó de lado el sistema constructivo original basado en la resistencia de la masa térmica. Es aquí cuando aparece en la producción de vino el problema relacionado con el logro de la estabilidad térmica interior.

En una construcción sobresuelo, los intercambios interior – exterior se dan a través de la piel o envolvente del edificio que separa “lo interior” de “lo exterior”. La envolvente es un borde dinámico, que interactúa con las energías naturales externas y el ambiente edilicio interior. Es un campo fértil para el desarrollo de capas y espacios de control flexibles que faciliten la adaptación a las características cambiantes del clima (Ganem Karlen, 2006).

En Mendoza, los primeros establecimientos bodegueros aparecen documentados en el año 1600, en una representación del Cabildo mendocino. Se trata de pequeños y medianos recintos sobresuelo, que seguramente en unas ocasiones no llegaban a ser fijos, y en otras

serían de dudosa estabilidad. Esto supone que estos caldos expuestos a 25 °C de temperatura se corrompían rápidamente. Eran los productos cuyanos de escasa calidad y de fácil alteración. Se entiende por alteración la modificación que sufre un caldo por cuestiones naturales, de envasado y/o de transporte (Riviera, 2006).

En la actualidad, Mendoza produce uno de los mejores varietales Malbec D.O.C y es famosa por sus excelentes vinos. El Instituto Nacional de Vitivinicultura registra entre sus estadísticas una superficie cultivada con vid en el año 2011 de 217.750 ha.; 2.238 millones de kg. de cosecha de uvas al 27/05/2012; 1.137 millones de litros de vino elaborados al 27/05/2012 en 952 bodegas elaboradoras (INV, 2012). La mayoría de estas bodegas está construida sobresuelo, siendo escasa la cantidad que presenta algún recinto subterráneo. En Ganem (et. al., 2012) se presenta una muestra representativa de bodegas en el Oasis Norte de Mendoza y se realiza una aproximación a la clasificación de sus envolventes.

En el caso de que la arquitectura no provea la respuesta adecuada a las necesidades microclimáticas para la producción de vino, indefectiblemente se recurre al consumo de energía auxiliar. Actualmente, el enfriamiento de la materia prima que ingresa a los lagares y luego el control de la temperatura durante la etapa de fermentación del mosto se da a través de serpentinas por las que circula agua fría. Asimismo, durante las etapas de crianza y almacenamiento se controla la temperatura del aire mediante acondicionadores eléctricos. Estos procesos de control de temperatura son muy intensivos respecto de su consumo de energía auxiliar.

La actividad industrial actual –basada en el uso de energías convencionales no-renovables– impacta en el medio ambiente mediante emisiones de CO₂ que contribuyen al calentamiento global. En el caso de la industria vitivinícola en la región de Cuyo, las bodegas se encuentran generalmente ubicadas próximas o bien dentro de las zonas productivas –que son oasis muy reducidos– afectando con su construcción y su funcionamiento directamente las condiciones micro-climáticas del lugar. Este impacto puede alterar la producción de la materia prima comprometiendo la supervivencia de esta industria en la región.

Por estos motivos, el objetivo de este trabajo es analizar para el caso de una bodega

sobresuelo, los aspectos de materialidad, inercia térmica e intercambio de flujos energéticos de envolventes tradicionales y contemporáneas y, comparar los resultados obtenidos con un caso modelo de bodega subterránea. Así será posible elaborar recomendaciones constructivas que tengan en cuenta necesidades y características del ambiente interior necesarias en las bodegas sobresuelo y tiendan a aproximar los comportamientos interiores a las condiciones de una bodega subterránea.

2. Condiciones microclimáticas para cada etapa productiva

Las condiciones ambientales óptimas de los distintos locales de las bodegas varían de unos a otros en función de las circunstancias de trabajo para las personas y de las mejores situaciones para el almacenamiento o crianza de vinos. Los regímenes de temperatura y humedad son los principales factores ambientales que se precisa controlar en los distintos locales de la bodega, pero es indispensable tener en consideración en algunas dependencias los niveles de iluminación necesarios para un adecuado trabajo, y la total ausencia de olores extraños, eliminados en algunos casos por una adecuada ventilación, y en otros casos por el control de los distintos materiales de construcción o de almacenamiento dentro de la bodega (Moreno, 2008).

2.1 Fermentación

- La temperatura es más importante en los recipientes que en el conjunto del edificio. Entre la doble pared de las cubas, donde se realiza la fermentación, se colocan unos tubos por donde se hace circular agua caliente o fría, dependiendo de lo que se quiera conseguir.

- Como estas cubas tienen apertura superior, el CO₂ que se forma de las reacciones químicas, por su mayor densidad que el aire, baja y se acumula en la parte inferior, por lo que la ventilación debe ser inferior para mover este aire viciado.

- La luz también puede variar la fermentación, así que se precisa la necesaria para manejarse dentro de la instalación, aunque ésta sea la fase donde más iluminación se permite y se necesita.

2.2 Crianza

A partir de esta fase lo importante es la

estabilidad dentro de los siguientes rangos de referencia:

- Temperatura del aire entre los 12-16 °C.
- Mantener la humedad relativa en los márgenes 70-82 %.
- Eliminar malos olores y demás sustancias volátiles del aire que puedan filtrarse por la madera de las barricas.
- Luz mínima. En esta etapa se realizan tareas de movimiento, ya sea trasiegos, almacenaje de barricas y por lo tanto la necesidad de iluminación es variable.

2.3 Almacenamiento o guarda

De todas las fases, en ésta la estabilidad es la fundamental. Mantener los cuatro parámetros (temperatura, humedad, iluminación y ventilación) estables y controlados es esencial para conseguir que un buen vino. Ya que en esta etapa el vino está embotellado; ya no se tocará hasta que sea trasladado.

- Mantener niveles bajos de iluminación es más importante que en el resto de las otras fases. Aquí el vino está en botella de vidrio, el que deja pasar los rayos de luz, sobre todo los ultravioletas, que son los que más pueden afectar la calidad final del producto.

3. Caso de estudio: bodega sobresuelo

La Bodega S.A. posee una superficie cubierta de 4.900 m² y produce un promedio de 3.500.000 kg./año. Se encuentra situada en el Oasis Norte de la provincia de Mendoza, en la Región de Cuyo (coordenadas geográficas: 32° 52' Latitud Sur, 68° 51' Longitud Oeste, altitud 750 metros). En la Figura 1 se observa una imagen general de la misma desde el lagar.

En verano, la temperatura máxima media varía entre 35°C y 40°C, y el rango de temperatura mínima media es de 18°C a 22°C. Las variaciones entre la temperatura diaria alcanzan entre 10°C y 18°C. En invierno la temperatura mínima media se ubica bajo los 0°C y la máxima media varía entre 10°C y 15°C. La temperatura media anual es de 16,5°C. La radiación global horizontal varía entre 24.000 y 25.700 kJ/m² en verano, entre 14.000 y 22.700 kJ/m² en otoño y primavera, y entre 9.000 y 11.000 kJ/m² en invierno. Anualmente, el promedio de la radiación global horizontal se aproxima a 18.000 kJ/m², siendo 700 W/m² la

mayor potencia al mediodía solar. Las pérdidas por radiación de onda larga se aproximan a 180 W/m^2 .



Figura 1: Bodega S.A. vista desde la galería de recepción de la uva y el lagar. Fuente: Ganem, C., 2012.

Figure 1: S.A. Winery. View from the grape reception gallery and the wine-press. Source: Ganem, C., 2012.

3.1 Análisis de la envolvente

3.1.1 Materialidad

La Bodega S.A. presenta dos tipos de envolvente: una tradicional y otra contemporánea. La tradicional o másica, principalmente conformada por paredes de adobe de medio metro de espesor enterradas 1 metro bajo la cota del suelo con cubierta de madera, aislados con tierra y caña (*arundo donax*) y cubiertos con tejas. La envolvente contemporánea o liviana, con estructura y cubierta metálica mediante chapas de acero galvanizado en paredes y cubiertas. Las paredes presentan un muro base de placas de hormigón pretensado y sólo las cubiertas de chapa presentan aislación con espuma de poliuretano.

La diferencia en la materialidad de la envolvente responde al año en el que fue construido cada caso. La envolvente tradicional construida en 1891 responde al tipo de construcción de finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Actualmente acoge las etapas de fermentación y de crianza (Fig. 2). La producción de la bodega se ha incrementado notablemente desde sus inicios y las primeras etapas de producción del vino han ocupado casi todos los espacios disponibles en la antigua bodega, de allí la necesidad de una nueva construcción. La envolvente contemporánea se ha construido a partir del año 2000, y actualmente sigue replicándose, y se utiliza principalmente para acoger las etapas de embotellamiento y de almacenamiento. La elección de este tipo de

construcción liviana y en seco, responde a motivos económicos y a la velocidad de construcción así como a la mínima interrupción del desarrollo de los procesos productivos en funcionamiento (Fig. 3).



Figura 2: La envolvente tradicional. Fotografía e imagen termográfica. Fuente: Ganem, C., 2012.

Figure 2: Traditional envelope. Photography and thermographic image. Source: Ganem, C., 2012.



Figura 3: La envolvente tradicional. Fotografía e imagen termográfica. Fuente: Ganem, C., 2012.

Figure 3: Traditional envelope. Photography and thermographic image. Source: Ganem, C., 2012.

Los ingenieros ejecutivos conocen de las diferencias micro-climáticas interiores de este tipo de espacios sobresuelo con envolventes pobres en cuanto a sus posibilidades de regulación ambiental y, por lo tanto, altamente energético-dependientes. No obstante las dificultades operativas mencionadas, el costo de la energía en Argentina sigue siendo lo suficientemente bajo (USD 0.15 por kWh) por lo que resulta más económico comprar equipamiento mecánico para aclimatar el nuevo espacio que construir de la manera tradicional con los tiempos y espacios

que este tipo de construcción implica. Por este motivo es muy importante que la propuesta de soluciones atienda estas necesidades de construcción rápida y limpia.

Las Figuras 2 y 3 presentan fotografías e imágenes termográficas de las dos alternativas de materialización de la envolvente. En la Figura 2 se observan las paredes de adobe con la terminación en revoque blanco y en los techos se pueden observar las cañas y la estructura de madera.

Las ventanas son altas y de abrir. La luz ingresa al espacio filtrada a través de persianas verdes. (No obstante la recomendación indica que las ventanas deben estar colocadas en una posición baja durante la fermentación).

La Figura 3 muestra la nueva construcción con las paredes y cubiertas de acero galvanizado. La luz ingresa a través de las puertas y los lucernarios que presentan vidrios fijos (la ventilación se logra a través de las puertas que están siempre abiertas.)

Dichos lucernarios son horizontales y no presentan ningún tipo de protección solar. Consienten más iluminación que la requerida para la fase de almacenamiento. No obstante, nótese la iluminación artificial que se encuentra encendida en horas del mediodía, cuando la imagen de la Figura 3 fue tomada. Las botellas usualmente se almacenan dentro de cajas opacas que las protegen de la iluminación descrita en el espacio.

Tabla 1: Propiedades de los materiales de las paredes. Fuente: INTI, 1998.

Table 1: Wall's materials properties. Source: INTI, 1998.

	Envolvente Tradicional		Envolvente Contemporánea	
	Tierra	Adobe	Acero galvanizado	Hormigón Pretensado
ρ = Densidad (Kg/m ³)	1800	1600	7850	2400
C_p = Calor específico (J/Kg.K)	1460	650	460	805
λ = Conductividad térmica (W/m.K)	2.10	0.81	45	1.63
e = Espesor (m)	1	0.5	0.005	0.10

Tabla 2: Propiedades de los materiales de la cubierta. Fuente: INTI, 1998.

Table 2: Roof's materials properties. Source: INTI, 1998.

	Envolvente Tradicional		Envolvente Contemporánea	
	Caña (arundo donax) tierra	Tejas	Acero galvanizado	Espuma de poliuretano
ρ = Densidad (Kg/m ³)	75	1300	7850	49
C_p = Calor específico (J/Kg.K)	1000	840	460	1400
λ = Conductividad térmica (W/m.K)	0.20	0.49	45	0.021
e = Espesor (m)	0.2	0.05	0.005	0.03

Las Tablas 1 y 2 presentan en forma comparativa las propiedades físicas de los principales materiales involucrados en cada caso en muros y cubiertas. El valor U, que depende del espesor utilizado en esta construcción en particular, es un indicador muy claro de la gran variedad de intercambios energéticos que se dan a través de la envolvente en cada espacio. Aún más, si tenemos en cuenta que en verano las diferencias entre la temperatura exterior y la temperatura interior (necesaria en las etapas de elaboración del vino) pueden llegar a ser de 25 °C.

3.1.2 Intercambios de flujos energéticos interior – exterior

En el edificio tradicional de la Bodega S.A., 85 % de la envolvente se encuentra sobresuelo, es decir, en contacto con el exterior y el 15 % de la envolvente se encuentra enterrado. El porcentaje de envolvente bajo la cota del nivel del suelo responde a una diferencia en pendiente del terreno que fue aprovechada cuando la bodega fue construida.

En el caso de las nuevas construcciones contemporáneas, los edificios se encuentran en su totalidad sobre la superficie del terreno. Las Figuras 4 y 5 muestran esquemas en corte vertical para cada caso. En la Figura 6, se presenta la planta del conjunto edilicio, para completar la información gráfica de las dimensiones subterráneas y sobresuelo.



Figura 4: Esquema del edificio tradicional en el que se indican la ubicación de las fotografías, desde afuera y desde adentro, en donde se puede apreciar la diferencia de niveles del piso que potencia la pendiente natural del terreno. Fuente: Ganem, C., 2012.
Figure 4: Traditional building scheme with indications of the location of the photographs, from outside and inside, in which it can be observed the difference in ground level that potentiates the land natural slope. Source: Ganem, C., 2012.



Figura 5: Esquema del edificio contemporáneo en el que se indica la ubicación de las fotografías, desde afuera y desde adentro, en donde se puede apreciar que el edificio se ubica sobre el terreno. Fuente: Ganem, C., 2012.
Figure 5: Contemporary building scheme with indications of the location of the photographs, from outside and inside, in which it can be observed that the building is placed on the land. Source: Ganem, C., 2012.

Las posibilidades de regulación de los intercambios energéticos interior – exterior se evalúan mediante la comparación de intercambios de flujos de calor para ambos casos a partir de la Ecuación de la Ley de Fourier (Ecuación 1).

$$Q = U * S * (T_e - T_i) \quad (1)$$

Donde:

Q = flujo (W)

U = coeficiente de transmisión de calor (W/m²K)

S = superficie de envoltente (m²)

T_e = temperatura exterior (K)

T_i = temperatura interior (K)

Para calcular los flujos energéticos de los dos tipos de espacio y comparar sus posibilidades de regulación climática interior, se establecieron dos parámetros fijos:

$$S = \text{superficie de la envoltente} = 100 \text{ m}^2$$

$$\Delta T (T_e - T_i) = 15 \text{ K}$$

Los siguientes fueron los resultados obtenidos. Ellos muestran la tendencia de la cantidad de intercambios para cada caso:

Paredes Tradicionales (másicas): Q=2.445 W

Techos tradicionales (másicos): Q=3.000 W

Paredes contemporáneas (liviano sin aislación): Q=15.000.000 W

Techos contemporáneos (liviano con aislación): Q=1.050 W

Los valores de flujo son similares para paredes y techos tradicionales y muy distintos en el caso de paredes y techos contemporáneos. La utilización de aislante en el caso del acero galvanizado presenta una diferencia notoria. Este valor es incluso inferior respecto de los obtenidos con envoltentes tradicionales.

A continuación, y para los fines de evaluar en forma comparativa los dos casos de envoltente sobresuelo con una situación de envoltente enterrada, se presentan los valores correspondientes a una bodega subterránea.

Las oscilaciones horarias de temperatura en la superficie de piso se amortiguan al aumentar la profundidad: a 2m de profundidad estas oscilaciones son prácticamente despreciables y la temperatura de la tierra puede considerarse constante y cercana a la temperatura media anual del aire del lugar (Flores, 2011) La temperatura media del aire para Mendoza es de 16,5 °K. En este caso la diferencia de temperaturas interior-exterior es equivalente a 0 °K debido a que la

temperatura buscada es la misma que la que se obtiene a partir de los 2 metros de profundidad.

Bodega subterránea: $Q = 212 \text{ W}$

Del análisis se desprende la condición indispensable del aislamiento de la envolvente, en el caso de que la construcción de la bodega sea sobresuelo. Es evidente la notoria disminución en los intercambios de flujo para el caso de la bodega subterránea.

El intercambio de flujos energéticos como parámetro de evaluación se completa con el análisis de inercia térmica, que si bien la envolvente contemporánea aislada presenta menor tendencia al intercambio calórico, no considera materiales con masa e inercia térmica, indispensables para la estabilidad de las temperaturas interiores en climas con grandes variaciones térmicas diarias y estacionales.

3.1.3 Inercia térmica

El cálculo de la inercia térmica se realizó con las ecuaciones del "Instituto Eduardo Torroja" (Ecuaciones 2 y 3); y la información de las Tablas 1 y 2.

$$I = R \cdot S_{24} \quad (2)$$

$$S_{24} = 8.48 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(\lambda \cdot \rho \cdot C_p)} \quad (3)$$

Donde:

I = inercia térmica. Parámetro adimensional.
 R = Resistencia térmica (espesor "e"/ λ) ($\text{m}^2\text{K/W}$)
 S_{24} = factor de 24 horas
 C_p = calor específico a presión constante (J/kg.K)
 ρ = densidad del material (kg/m^3)
 λ = conductividad térmica (W/mK)

La inercia térmica de los diferentes materiales que componen la envolvente tradicional son:

- Paredes:

Tierra (espesor de 1m) $I = 94.86$
 Adobe (espesor de 0.50 m) $I = 38.91$

- Cubiertas:

Arundo donax / tierra (espesor de 0.5 m) $I = 10.38$
 Tejas (espesor de 0.05 m) $I = 6.32$

La inercia térmica de los diferentes materiales que componen la envolvente contemporánea son:

- Paredes:

Hormigón pretensado (espesor de 0.10 m) $I=9.23$

Acero galvanizado (espesor de 0.005) $I=0.12$

- Cubierta:

Espuma de poliuretano (espesor de 0.03 m) $I=4.59$

Acero galvanizado (espesor de 0.005) $I=0.12$

Los resultados son conclusivos respecto de la posibilidad de estabilidad térmica interna que presentan los espacios con masa, es decir, los que presentan envolventes tradicionales. Se considera que esta condición es indispensable para edificios de bodegas sobresuelo. Los espacios conformados con envolventes livianas no brindan la misma posibilidad.

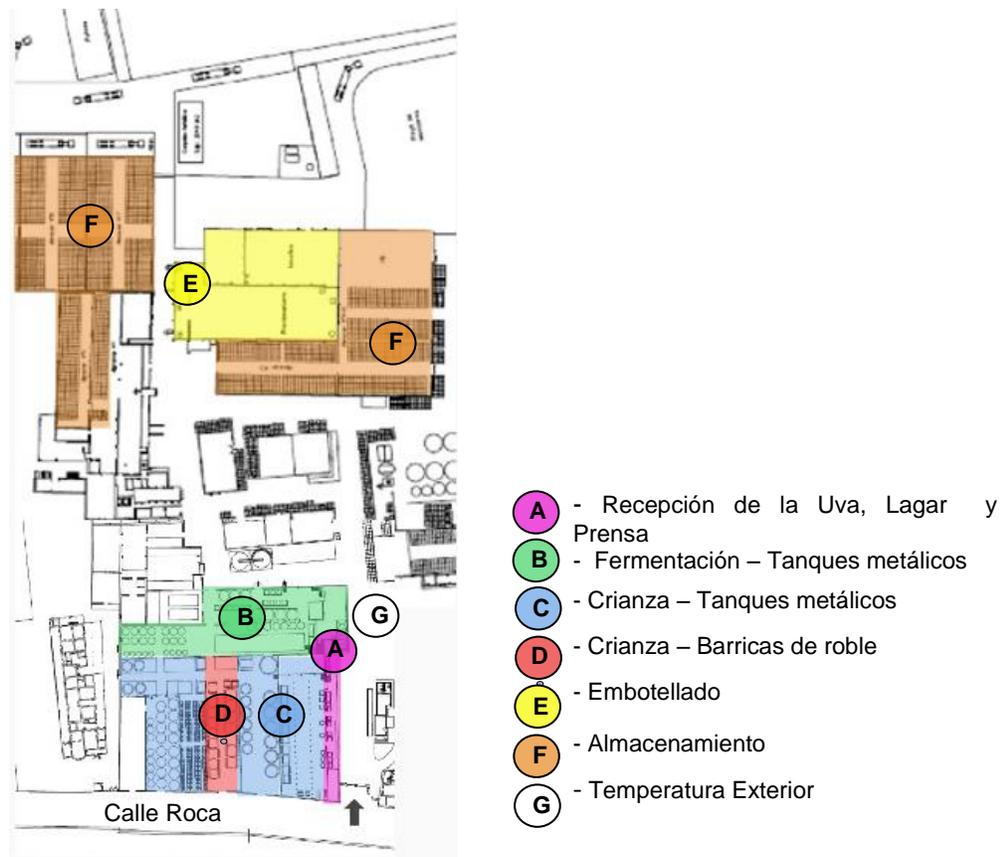
Hasta este punto se ha realizado un exhaustivo análisis analítico del comportamiento de la Bodega S.A. y se ha desarrollado una valoración comparativa con un caso óptimo de bodega subterránea. El próximo paso es la realización de mediciones de temperatura in situ.

4. Medición de temperaturas de verano

Para realizar la medición de temperaturas se utilizó la metodología denominada Paseo con instrumentos (Walkabout) propuesta por Guerra (2003). Este método se adapta a los estudios de campo en los que es difícil colocar micro-adquisidores de datos en lugares fijos por largos periodos de tiempo. Consiste en tomar varias mediciones en cada espacio en un periodo de tiempo breve en el cual se realiza el recorrido del edificio.

Para la medición de la temperatura del aire se utilizó un micro-adquisidor ONSET HOBO U14-001. Este fue programado para realizar un registro cada 15 segundos. Debido a que el mismo presenta un display digital además de almacenar los datos obtenidos, dicha característica permitió verificar la estabilización del sensor en cada espacio antes de continuar el recorrido. Para la medición de la temperatura superficial y la obtención de imágenes en el espectro infrarrojo, se utilizó una cámara termográfica FLIR i3. El relevamiento se completó con fotografías.

Las mediciones se realizaron durante tres días claros al mediodía solar (30 min.), llevándose a cabo el recorrido en una hora y luego fueron promediadas. Las fechas de medición fueron el 13, 20 y 27 de enero de 2012 (verano en el Hemisferio Sur). Se siguieron recomendaciones de uso eficiente de micro-adquisidores propuestas por Longobardi and Hancock (2000).



En la Figura 6 se presenta el plano de la bodega en el cual se identifican los 6 espacios medidos en relación con cada etapa del proceso productivo: Se comienza por la recepción de la uva en los Lagares y Prensa Neumática (A); se continúa con los tanques de fermentación (B); luego con la crianza tanto en barricas de roble como en tanques metálicos (C y D respectivamente); y finalmente se miden los espacios de embotellado (E) y almacenamiento (F). El espacio exterior se indica como G.

Nótese que:

- La etapa A se desarrolla al exterior, bajo techo.
- Las etapas B, C y D se desarrollan en el edificio con envolvente tradicional, y
- Las etapas E y F en las nuevas construcciones contemporáneas.
- Las mediciones se completan con la temperatura del aire exterior al iniciar y al finalizar el recorrido. La Tabla 3 presenta las temperaturas resultantes.

Tabla 3: Referencias a la Figura 4 y resultados de las mediciones de temperatura. Fuente: Datos propios tomados en la bodega mediante instrumental de medición.

Table 3: References to Figure 4 and temperature measurements results. Source: Own data taken by measurement instruments in the winery.

Bodega S.A.	Temperatura del aire promedio	Rango de temperaturas promedio superficiales
A. Recepción de la Uva Lagar y Prensa Neumática	31,5 °C	29°C – 46°C
B. Fermentación – Tanques metálicos	25 °C	8°C – 17°C
C. Crianza – Tanques metálicos	26,5 °C	10°C – 19°C
D. Crianza – Barricas de roble	25 °C	8°C – 17°C
E. Embotellado	32 °C	20°C – 36°C
F. Almacenamiento	30 °C	18°C – 34°C
G. Temperatura Exterior	35 °C	29°C – 46°C

5. Requerimientos de energía auxiliar

Las uvas llegan a la bodega a una temperatura promedio de 26°C, dicha temperatura debe bajar a 8°C luego de haber pasado por el lagar, la prensa neumática y la primera serpentina refrigerante. Luego, la temperatura de los jugos se debe estabilizar a 5°C dentro de los tanques metálicos. Estos tanques tienen doble envolvente y están atravesados en su interior por serpentinas refrigerantes. Si tomamos en consideración que la temperatura medida del aire en el lagar es de 33°C y de 25°C en el espacio en el que se encuentran los tanques de fermentación, el ΔT es 25°C en el primer caso y de 30 °C en el segundo caso. El uso de bombas refrigerantes es intensivo para poder mantener las temperaturas en los valores indicados, y por lo tanto, el consumo energético auxiliar asociado.

La bodega S.A. tiene tres bombas refrigerantes: una con una potencia de 150 kW, y dos con una potencia de 90 kW, para una potencia total de 330 kW.

La bomba de 150 kW se utiliza en forma continua durante todo el año para las fases de crianza y embotellado. Los espacios destinados a almacenamiento no se refrigeran. Cuatro meses al año, durante la recepción de las uvas y la fermentación, el consumo se incrementa, ya que se ponen en funcionamiento las dos bombas que en su conjunto suman 180 kW de potencia durante el día para estabilizar el proceso de fermentación de 1.500.000 litros.

6. Resultados y conclusiones

La Envolvente tradicional mantiene las temperaturas interiores entre 8,5°C y 10°C por debajo de las temperaturas exteriores. Los nuevos espacios con envolventes contemporáneas y livianas mantienen las temperaturas interiores sólo entre 3°C y 5°C por debajo de las temperaturas exteriores.

Estos resultados son coherentes con la inercia de los materiales constructivos. El coeficiente de inercia de las paredes macizas se calculó entre 38 y 95, mientras que en el caso de las paredes livianas dicho coeficiente de inercia resultó entre 0.22 y 10.

No obstante la diferencia entre ambas situaciones, ninguno de los casos resuelve la necesidad de temperaturas cercanas a los 16°C en el interior de la bodega. En el caso de verano, cuando la temperatura exterior es de 35°C, la

menor temperatura medida en el interior es de 25°C, casi 10°C por sobre la temperatura necesaria para la correcta operación de la bodega. Como consecuencia se estiman importantes valores de consumo de energía auxiliar: 1.800 kW/h por día de abril a noviembre y 3960 kW/h por día de diciembre a marzo. Dichos consumos suponen alrededor de 1.000.000 de kW/h por año, el equivalente a USD 150.000.

Si la bodega fuera subterránea, el coeficiente de inercia rondaría el valor de 100 para toda la envolvente (paredes y cubierta). Esa es una de las razones principales por las que siempre es preferible que los momentos más críticos del proceso, especialmente los que llevan mucho tiempo como la crianza en barricas, se encuentren en un nivel subterráneo para ahorrar energía de refrigeración y asegurar todo el año temperaturas estables de 16,5°C (para el caso de Mendoza). Esta recomendación es muy válida y se debe considerar para nuevas construcciones.

Es poco probable que se pueda cambiar el nivel de una bodega construida, y, además, la tasa de renovación edilicia es muy baja. De acuerdo con Lowe, Bele, Johnston (1996) a la velocidad actual de construcción y demolición, los edificios construidos antes de 1990 conformarán la mayoría del stock total hasta avanzada la segunda mitad del próximo siglo. Stafford, Gorse, Shao (2011) expresan que alrededor del 70 % de los edificios existentes hoy todavía estará en uso en el 2050. Por los motivos expresados, las recomendaciones ambientales y energéticas se orientan a mejorar la envolvente existente que continuará en funcionamiento por muchos años más. La preocupación de tomar en cuenta los edificios existentes como objeto de estudio sigue las teorías expresadas por Kohler y Hassler (2000).

En el caso de los espacios con envolvente tradicional, los mismos se encuentran enterrados parcialmente y esa condición espacial mejora su funcionamiento térmico. En estos espacios se localizan los procesos claves en la elaboración del vino (fermentación y crianza), por lo que no se considera necesaria una redistribución espacial de los procesos. No obstante, es imprescindible un buen mantenimiento de la construcción existente y la mejora en las aberturas (puertas, portones y ventanas), especialmente en la disminución de las infiltraciones que se producen a partir de los marcos de madera que permiten varias renovaciones de aire por hora. La renovación debe ser eficiente y lo suficientemente

flexible como para permitir su adaptación a requerimientos puntuales de ventilación, como por ejemplo para ventilar el CO₂ durante la etapa de fermentación. Estas medidas mejorarán el funcionamiento térmico de los espacios disminuyendo los altos consumos energéticos registrados.

En lo que respecta a la nueva construcción, ésta se utiliza principalmente para las etapas de embotellado y almacenamiento; tanto su tecnología constructiva como sus materiales deben ser accesibles y no interferir con el proceso de elaboración en marcha en la bodega. Los sistemas de construcción en seco se presentan como la mejor opción. No obstante es necesario un equilibrio entre lo liviano y aislado y lo macizo, especialmente en climas con grandes variaciones diarias y estacionales como son los climas en los que se cultiva la vid. Se recomienda que se continúe con el muro base de hormigón pretensado y, de ser posible, hacerlo con un mayor ancho y una mayor altura. Toda la envolvente liviana de acero galvanizado debe estar correctamente aislada evitando puentes térmicos. De esta forma, la base con masa proveerá de la necesaria inercia y estabilidad interna de temperaturas y la envolvente aislada disminuirá los intercambios energéticos.

Agradecimientos

A L. Mazziotti por la información específica y el acceso a la Bodega S.A. Este artículo es parte del proyecto PICT 2008 – 1894 Sostenibilidad en la industria vitivinícola de la región de Cuyo: Valoración de los beneficios ambientales, energéticos y económicos de distintas estrategias de resolución de envolventes en relación con el ciclo productivo y con la calidad final del vino". Y es financiado por FONCyT – ANPCyT.

Referencias Bibliográficas

Flores Larsen, S. (2011) Modelización de la transferencia de calor al suelo en los programas de simulación térmica de edificios Energy Plus y Simedif. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, 8.27 – 8.34.

Ganem Karlen, C. (2006) *Rehabilitación ambiental de las envolventes de viviendas. El caso de Mendoza*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Ganem, C.; Balter, J. y Barea, G. (2012) Envolventes de bodegas en la región de Cuyo: análisis de cuatro casos representativos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, 05.115-05.122.

Ganem, C. (2012) *Sostenibilidad en la industria vitivinícola de la región de Cuyo: Valoración de los beneficios ambientales, energéticos y económicos de distintas estrategias de resolución de envolventes en relación con el ciclo productivo y con la calidad final del vino*. Informe Técnico de Avance – ITA2. ANPCyT PICT-08-1894.

Guerra Ramírez, J. (2003) *Habitar el desierto. Transición Energética y Transformación del Proyecto Habitacional Colectivo en la Ecología del desierto de Atacama, Chile*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

INTI – Instituto Nacional de Tecnología Industrial.(1998) *Registro INTI de Materiales para la Construcción*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Kohler N. y Hassler U. (2002) The building stock as a research object. *Building Research & Information*, 30 (4) 226-236.

Longobardi y Hancock. (2000) *Field trip strategies*. TIA 2000 Conference Proceedings. Oxford: Oxford Brookes University.

Lowe, R., Bele, M y Johnston, D. (1996) *Directory of Energy Efficient Housing*. Chartered Institute of Housing. Londres.

Moreno, J. (2008) *La bodega: modelo de arquitectura sostenible*. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Rivera Medina, A. M. (1987) *Entre la Cordillera y la Pampa: la Vitivinicultura en Cuyo, Argentina*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. Sevilla, España.

Stafford, A.; Gorse, C. y Shao, L. (2011) *The retrofit challenge: Delivering low carbon buildings*. Centre for Low Carbon Futures 2050. Leeds. Reino Unido.

Recibido: 18|12|2012
Aceptado: 15|03|2013

Temperatura y rangos de confort térmico en viviendas de bajo costo en clima árido seco

Comfort temperatures and thermal comfort range in low cost dwellings in arid climate



Luis Herrera Sosa carlos.herrera@uacj.mx
Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte – Universidad Autónoma de Ciudad Juárez - México



RESUMEN

Palabras Claves
Confort térmico
Clima árido
Temperatura neutral
Enfoque adaptativo

Este documento presenta los resultados de un estudio de campo para determinar la temperatura de confort de habitantes de viviendas de bajo costo en dos ciudades de clima cálido-seco al norte de México: Chihuahua (28° LN, 106° LO) y Ciudad Juárez (31°LN, 106°LO). El estudio de campo se realizó con el enfoque adaptativo de confort térmico y de acuerdo con los requerimientos de la ISO 10551. El estudio fue aplicado a 531 habitantes de viviendas construidas por el Instituto de Vivienda de Chihuahua, durante dos periodos: temporada de invierno (febrero) y temporada de verano (julio). Como el clima de la región tiene características de climas "asimétricos", llamado así por Nicol (1993), los datos obtenidos en el estudio de campo se analizaron mediante el Método Intervalos de los Promedios de Sensación Térmica (IPST) (Gómez-Azpeitia, et. al, 2009). La investigación tiene como objetivos evaluar este tipo de viviendas que ofrece el gobierno local y proponer recomendaciones para el diseño de nuevas viviendas.

ABSTRACT

Key Words
Thermal comfort
Arid climate
Neutral temperature
Adaptive approach

This paper presents the results of a field study on thermal comfort of inhabitants of low cost dwellings in two cities of the northern arid region of Mexico: Chihuahua (lat: 28N, long: 106W) and Juarez City (lat: 31N, long: 106W). The field study was conducted upon the adaptive approach of thermal comfort, and according the ISO 10551 requirements. The survey was applied to 531 inhabitants of dwellings built by the Chihuahua State Housing Institute, during two periods: cold season (February) and hot season (July). Given that the climate of the region has features of "asymmetric" climates, so called by Nicol (1993), the data obtained in the field study was analyzed by the Averages for Thermal Sensation Intervals Method (ATSI) (Gomez-Azpeitia et al, 2009). The aim of this research project was to assess this kind of housing offered by the local government and to propose recommendations for the design of new dwellings.

1. Introducción

Este documento presenta los resultados de un estudio de campo realizado en las ciudades de Chihuahua y de Juárez que se localizan en el estado de Chihuahua al norte de México (Fig. 1). El objetivo del estudio fue evaluar si las viviendas de bajo costo, que promueve el Instituto de Vivienda de Chihuahua, alcanzan los niveles de confort térmico requerido por sus habitantes y en su caso, hacer recomendaciones arquitectónicas

dirigidas a mejorar los niveles de confort higrotérmico en los diseños de nuevas viviendas.

Las coordenadas geográficas en donde se localiza la ciudad de Chihuahua son: 28° latitud norte, 106° longitud oeste y 1,425 msnm. Las coordenadas geográficas de Ciudad Juárez son: 31° latitud norte, 106° longitud oeste y 1,150 msnm (Fig.2).



Figura 1: República mexicana. Fuente: Herrera, 2004.
 Figure 1: Mexican Republic. Source: Herrera, 2004.



Figura 2: Coordenadas geográficas de Chihuahua y de Ciudad Juárez. Fuente: Herrera 2004.
 Figure 2: Geographical coordinates of Chihuahua and Juarez city. Source: Herrera, 2004.

2. Clima

El clima en Chihuahua se considera cálido seco extremoso, con una temperatura promedio anual que fluctúa entre los 10.08 °C 29.90 °C con extremas por arriba de 41.30 °C n verano y de -12.80 °C en invierno. El promedio de la humedad relativa es de 52.40 % con mínima de 14.40 %. De acuerdo con el diagnóstico bioclimático se tienen tres temporadas climáticas: invierno (noviembre a febrero), transición (marzo, abril y octubre) y verano (mayo a septiembre) (Fig. 3).

El clima en Ciudad Juárez es considerado cálido seco extremoso y con humedad relativa media, con un promedio anual de temperatura que fluctúa entre 10.03 °C y 25.8 °C, con extremas por arriba de 45.00 °C en verano y de -23.00 °C en invierno. El promedio de humedad relativa es de 46.60 % con mínimas de 29.40%.

De acuerdo con el diagnóstico bioclimático se tienen tres temporadas climáticas: invierno (noviembre a marzo), transición (abril y octubre) y verano (mayo a septiembre) (Fig. 4).

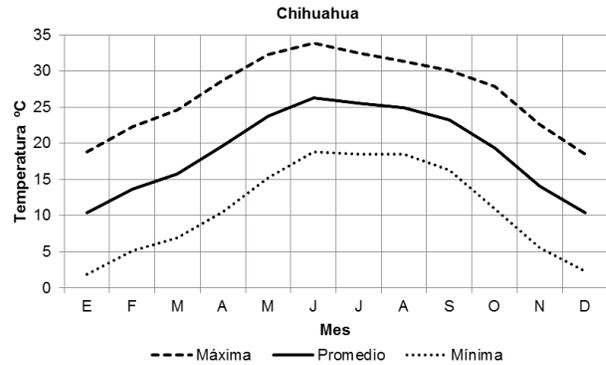


Figura 3: Temperatura promedio mensual en Chihuahua. Fuente: Herrera 2004.
 Figure 3: Monthly average temperature in Chihuahua. Source: Herrera, 2004.

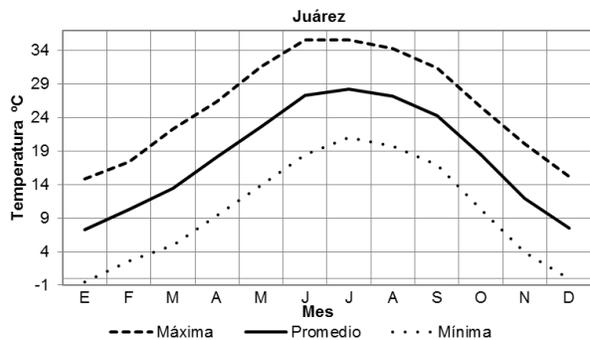


Figura 4: Temperatura promedio mensual en Juárez. Fuente: Herrera 2004.
 Figure 4: Monthly average temperature in Juarez. Source: Herrera, 2004.

3. Método

El método de investigación fue de tipo transversal. Las encuestas se aplicaron en cada ciudad en dos temporadas diferentes denominadas invierno (febrero) y verano (julio). Se aplicó un total de 531 encuestas durante toda la investigación. De estas 272 fueron en la temporada de invierno, 146 en Chihuahua y 126 en Ciudad Juárez. En la temporada de verano se hicieron 259 encuestas, 23 en Chihuahua y 136 en Ciudad Juárez.

La selección de las casas se determinó en conjunto con el Instituto de la Vivienda de Chihuahua. Las viviendas seleccionadas en Chihuahua y Ciudad Juárez son de crecimiento progresivo, habitadas y su superficie inicial de construcción es de 23.76 m² (Fig. 5).

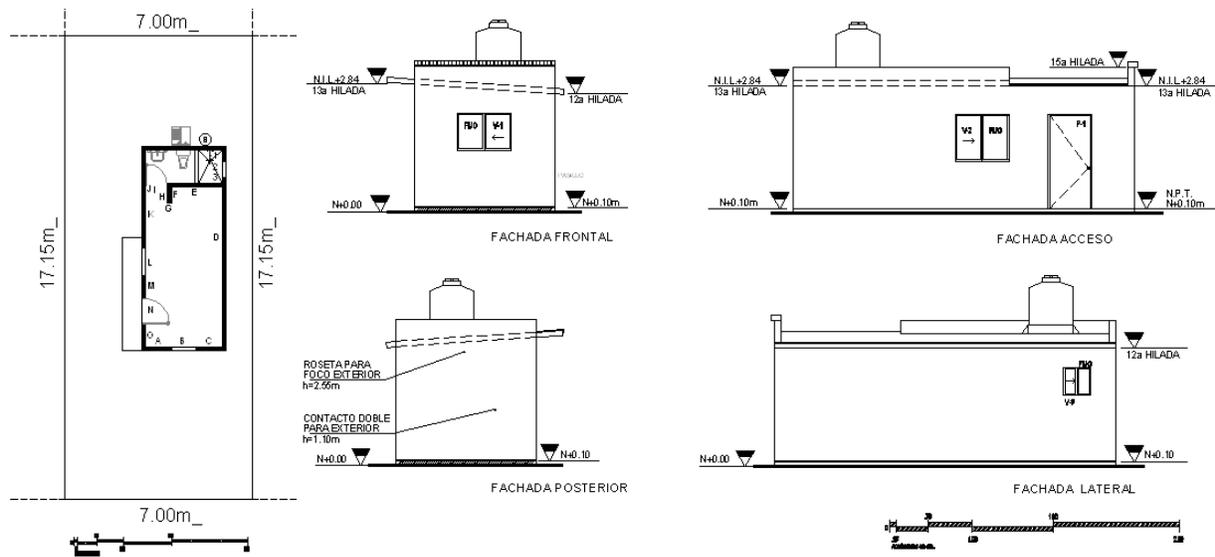


Figura 5: Vivienda de estudio seleccionada. Fuente: Herrera 2009.

Figure 5: Case Studv. Source: Herrera. 2009

La selección de las casas se determinó en conjunto con el Instituto de la Vivienda de Chihuahua. Las viviendas seleccionadas en Chihuahua y Ciudad Juárez son de crecimiento progresivo, habitadas y su superficie inicial de construcción es de 23.76 m² (Fig. 5).

Las viviendas están construidas con muros de block de concreto de 12 cm de espesor con acabados de cemento arena al exterior e interior, pintadas de color blanco; losa de concreto de 12 cm de espesor aligerada con placas de poliestireno, y vidrios sencillos de 4 mm de espesor con marcos de aluminio.

Las zonas habitacionales donde se aplicaron las encuestas son Fraccionamiento San Guillermo II en Chihuahua y fraccionamiento Real de Desierto en Ciudad Juárez.

Las encuestas se diseñaron cumpliendo con la norma ISO 10551 (1995) e incluyendo las sugerencias personales de B. Givoni durante una visita académica en la Universidad de Colima, México, en el 2003. El proceso y los instrumentos se ajustan a la norma ISO 7726 (1998) por lo que los datos generados son considerados de clase I, según la clasificación de Brager y de Dear (1998). Las encuestas se realizaron en el interior de las casas de 8:00 a 16:00 horas. Sólo se encuestaron personas de entre 14 y 70 años de edad y que no se hubieran duchado o estuvieran cocinando.

Las respuestas de los sujetos en el estudio se organizaron de acuerdo con la escala de ASHRAE (2004) (Tabla 1).

Tabla 1: Voto o valor de apreciación de la sensación térmica de las personas entrevistadas. Fuente: elaboración propia.

Table 1: Vote or appreciation value of the thermal sensation of interviewed people. Source: Own Elaboration.

Valor	Voto o apreciación
1	Muy frío
2	Frío
3	Algo de frío
4	Ni calor ni frío
5	Algo de calor
6	Calor
7	Mucho calor

Para analizar los resultados y obtener la temperatura neutral (Tn) y el rango de confort térmico se utilizó el llamado Método de Intervalos Promedios de Sensación Térmica (IPST) (Gómez-Azpeitia, et. al., 2009), para los climas "asimétricos" (Nicol, 1993). Este método se diferencia del método convencional llamado de regresión por estratos con dispersión asociada, o simplemente regresión por estratos (RL) propuesto por Nicol (1993), en que antes de obtener la línea de regresión que caracteriza a la muestra estudiada se determinan capas, grupos o intervalos para calcular el valor promedio y la desviación estándar de cada uno de ellos. Por lo que la regresión no se hace con todos los datos de la muestra, sino que con los valores medios y los rangos se van estableciendo mediante la adición y sustracción de una o más veces la desviación estándar de cada capa (Gómez-Azpeitia, et. al., 2009).

Este método fue desarrollado con el fin de evitar el sesgo que se genera cuando las respuestas a la sensación térmica de los voluntarios en los estudios de campo tienden a moverse hacia un extremo de la escala, dejando el otro extremo sin respuestas. En tales condiciones, la temperatura neutral (T_n) obtenida a través de un método convencional no representa las opiniones verdaderas de la gente.

El desarrollo del método se basa en el enfoque adaptativo de confort térmico, lo que implica la interacción de las variables físicas y biológicas (clima, metabolismo, arropamiento) junto con los psicológicos (adaptación, tolerancia, conveniencia) (Nicol, 1993).

De forma simultánea a la aplicación de la encuesta se registró al interior de las casas la Temperatura de Bulbo Seco (TBS), la Temperatura de Bulbo Húmedo (TBH), la Humedad Relativa (HR), la Temperatura de Globo Negro (TGN) y la Velocidad de Viento Unidireccional (VVU).

Una vez capturados los datos se establecieron los rangos de distribución para cada intervalo de respuesta. Para ello se añade una desviación estándar de $\pm (s)$ a la temperatura media (T_m) para cada intervalo. Teóricamente, este primer rango incluye las dos terceras partes de las personas que expresaron la misma sensación térmica. El procedimiento se repite mediante la adición de dos desviaciones estándar $\pm 2s$ a la T_m , lo que teóricamente incluiría a casi todas las personas que registraron la misma sensación térmica.

Por último, se aplica una regresión lineal a las desviaciones estándar obtenidas con el fin de determinar las líneas correspondientes a los límites del rango ampliado definido por $T_m \pm 2s$, y del rango ajustado definido por $T_m \pm s$. El mismo procedimiento se tiene que hacer con las temperaturas medias. De esta manera se realizó un gráfico para cada temporada. La intersección de cada línea de regresión con el eje cuatro de las ordenadas -representando la sensación térmica neutral-determina la Temperatura Neutral de acuerdo con el método IPST, y también los límites de los rangos de temperatura de confort (Fig. 6, 7, 10 y 11).

4. Resultados

4.1 Chihuahua

En invierno la Temperatura Neutral (T_n) fue de 18.70 °C, con un límite superior de 21.41 °C y

un límite inferior de 16.20 °C. El rango ajustado fue de 5.22 °C (-2.50 °C a 2.72 °C) y el rango ampliado de 9.92 °C (-4.40 °C a 5.52 °C) (Fig. 6).

Durante la temporada de verano el valor de T_n fue de 29.19 °C, con un límite superior de 30.89 °C y un límite inferior de 27.44 °C. El rango ajustado fue de 3.45° (-1.75 °C a 1.70 °C) y el rango ampliado de 6.89 °C (-3.55 °C a 3.34 °C) (Fig. 7).

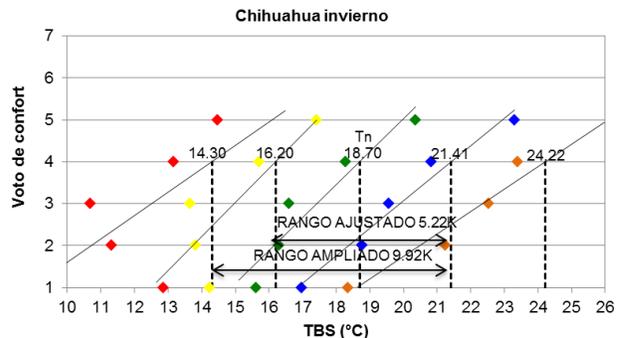


Figura 6: Aplicación del método IPST de los datos obtenidos en Chihuahua en invierno. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 6: IPST method applying of data obtained from Chihuahua in winter. Source: Own Elaboration.

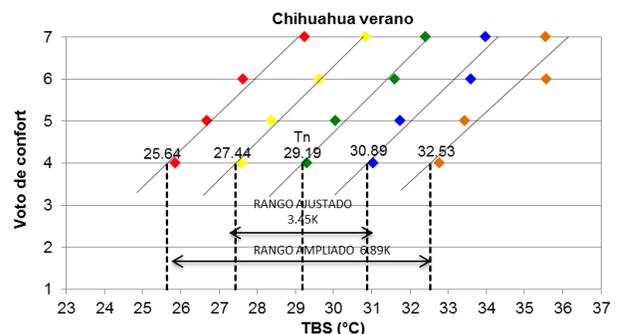


Figura 7: Aplicación del método IPST de los datos obtenidos en Chihuahua en verano. Fuente: elaboración propia.

Figure 7: IPST method applying of data obtained from Chihuahua in summer. Source: Own Elaboration.

En esta temporada los límites superior e inferior del rango de confort fueron de menor amplitud en comparación con los de temporada de invierno. Los resultados nos muestran que en la temporada de invierno el límite inferior es menor que el superior y cuando es temporada de verano esta condición se invierte.

La media de la T_n anual es de 10.49 °C, el rango ajustado es de 14.69 °C y el rango ampliado es de 18.23 °C (Tabla 2).

El 53.42 % de los votos de las personas encuestadas en la temporada de invierno se ubica dentro del rango de confort ajustado, mientras

que el 83.56 % de los votos se encuentra dentro del rango de confort ampliado. En la temporada de verano el 44.72% de los votos está dentro del rango de confort ajustado, mientras que el 78.05% de los votos se ubica dentro de los parámetros del rango de confort ampliado. Estos porcentajes, cercanos a lo que se esperaba con la metodología planteada, valida el proceso seleccionado (Fig. 8 y 9).

Los resultados de los votos de las personas encuestadas nos indican que hay una mejor adaptación térmica en la temporada de invierno que en la temporada de verano.

Tabla 2: Magnitud de rangos en grados Kelvin, Temperatura Neutral (Tn) y Límites de Valores de Confort en grados Centígrados. Chihuahua, México. Fuente: Elaboración Propia.
Table 2: Magnitude ranges in Kelvin degrees, Neutral temperature (Tn) and Comfort limits in Centigrade degrees. Chihuahua, Mexico. Source: Own Elaboration.

Invierno (Febrero)				
Rango Ajustado		Rango Ampliado		Tn MRL
5.22		9.92		
Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	18.70
16.20	21.41	14.30	24.22	
Verano (Junio)				
Rango Ajustado		Rango Ampliado		Tn MRL
3.45		6.69		
Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	29.19
27.44	30.89	25.64	32.53	

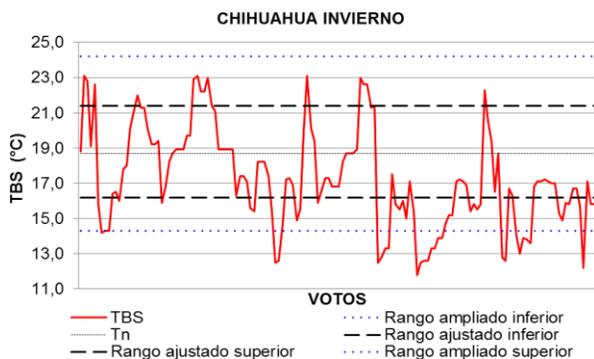


Figura 8: Comparación entre la Temperatura de Bulbo Seco (TBS) y la Temperatura Neutral (Tn) dentro de los diferentes rangos. Chihuahua en invierno. Fuente: elaboración propia.
Figure 8: Comparison of Dry Bulb Temperature (TBS) and Neutral Temperature (Tn) within different ranges. Chihuahua in winter. Source: Own Elaboration.

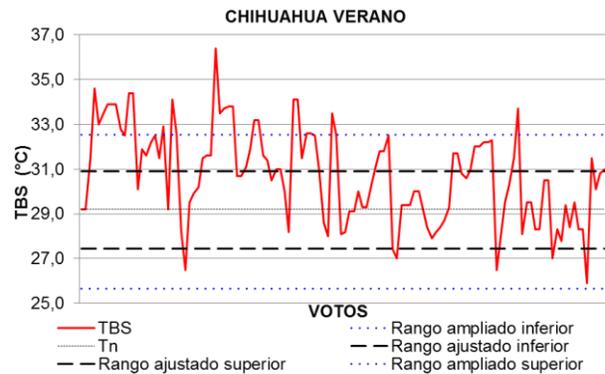


Figura 9: Comparación entre la Temperatura de Bulbo Seco (TBS) y la Temperatura Neutral (Tn) dentro de los diferentes rangos. Chihuahua en verano. Fuente: elaboración propia.
Figure 9: Comparison of Dry Bulb Temperature (TBS) and Neutral Temperature (Tn) within different ranges. Chihuahua in summer. Source: Own Elaboration.

4.2 Juárez

En invierno se obtuvo una Tn de 18.45 °C, con un límite superior de 19.96 °C y un límite inferior de 17.14 °C. El rango ajustado en esta temporada fue de 2.82° (-1.31 °C a 1.51 °C) y el rango ampliado de 6.76 °C (-2.55 °C a 4.21 °C) (Fig.10).

En verano la Tn fue de 29.54 °C, con un límite superior de 31.44 °C y un límite inferior de 27.33 °C. El rango ajustado en este caso fue de 4.11 °C (-2.21 °C a 1.90 °C) y el rango ampliado de 7.19 °C (-4.54 °C a 2.65 °C) (figura 11). Los rangos de ambas temporadas tienen una menor amplitud en comparación con los encontrados para Chihuahua.

La media de la Tn anual es de 11.09 °C, el rango ajustado es de 14.30 °C y el rango ampliado de 16.29 °C.

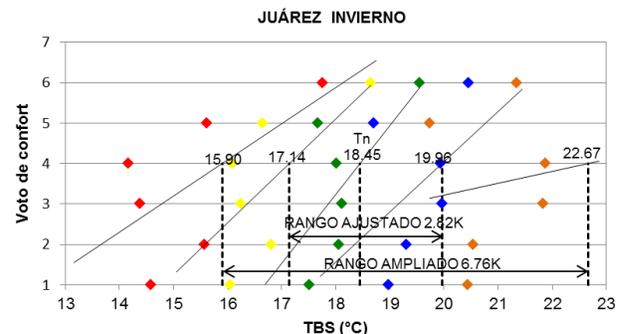


Figura 10: Aplicación del método IPST de los datos obtenidos en Juárez en invierno. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 10: IPST method applying of data obtained from Juarez in winter. Source: Own Elaboration.

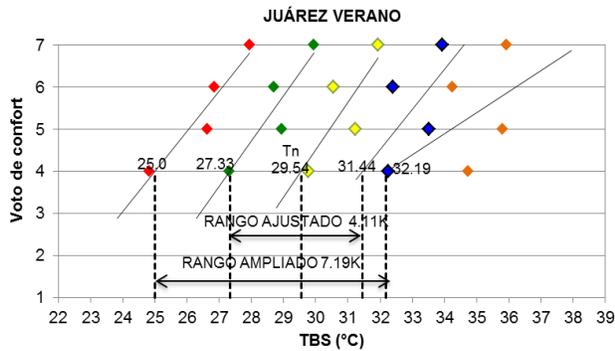


Figura 11: Aplicación del método IPST de los datos obtenidos en Juárez en verano. Fuente: elaboración propia.
Figure 11: IPST method applying of data obtained from Juarez in summer. Source: Own Elaboration.

Tabla 3: Magnitud de rangos en grados Kelvin, Temperatura Neutral (Tn) y Límites de Valores de Confort en grados Centígrados. Juárez, México. Fuente: Elaboración Propia.
Table 3: Magnitude ranges in Kelvin degrees, Neutral temperature (Tn) and Comfort limits in Centigrade degrees. Juárez, Mexico. Source: Own Elaboration.

Invierno (Febrero)				
Rango Ajustado		Rango Ampliado		Tn MRL
2.82		6.76		18.45
Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	
17.14	19.96	15.90	22.67	
Verano (Junio)				
Rango Ajustado		Rango Ampliado		Tn MRL
4.11		7.19		29.54
Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	
27.33	31.44	25.00	32.19	

El 66.67 % de los votos de las personas encuestadas en invierno se ubica dentro del rango de confort ajustado, mientras que el 88.10 % de los votos se encuentra dentro del rango de confort ampliado. En la temporada de verano el 65.44 % de los votos está dentro los rangos de confort ajustado y el 68.38 % dentro del rango de confort ampliado (Fig. 12 y 13).

Al igual que en Chihuahua, los resultados de los votos de las personas encuestadas nos indican que hay una mejor adaptación térmica en la temporada de invierno que en la temporada de verano.

Comparativamente en la temporada de invierno los votos de las personas encuestadas tienen un mayor porcentaje en Ciudad Juárez que

en Chihuahua en los rangos ajustados y ampliados. En la temporada de verano se presenta la misma situación excepto en el rango ampliado, pues el porcentaje de los votos es mayor en Chihuahua que en Ciudad Juárez.

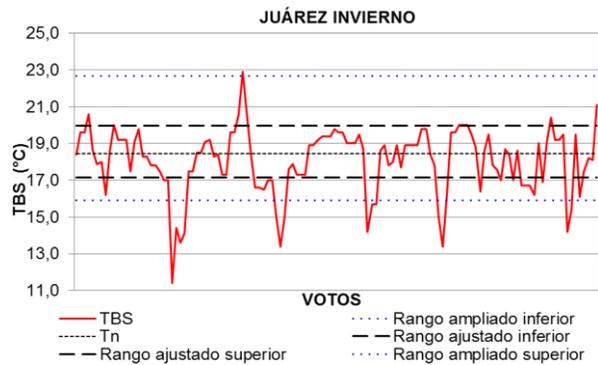


Figura 12: Comparación entre la Temperatura de Bulbo Seco (TBS) y la Temperatura Neutral (Tn) dentro de los diferentes rangos. Juárez en invierno. Fuente: elaboración propia.
Figure 12: Comparison of Dry Bulb Temperature (TBS) and Neutral Temperature (Tn) within different ranges. Juárez in winter. Source: Own Elaboration.

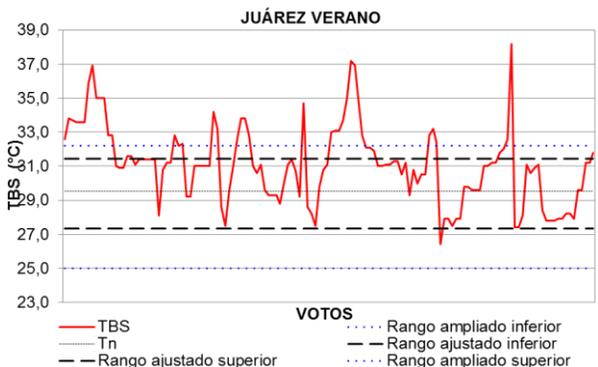


Figura 13: Comparación entre la Temperatura de Bulbo Seco (TBS) y la Temperatura Neutral (Tn) dentro de los diferentes rangos. Juárez en verano. Fuente: elaboración propia.
Figure 13: Comparison of Dry Bulb Temperature (TBS) and Neutral Temperature (Tn) within different ranges. Juárez in summer. Source: Own Elaboration.

4.3 Comparación con otro método

Se compararon las temperaturas neutrales obtenidas en el estudio de campo con los resultados calculados a través de la fórmula de la Auliciem (1981):

$$Tn = 17.6 \text{ °C} + 0.31 (Tamb)$$

Donde:

Tn = Temperatura neutral

Tamb.= Temperatura promedio mensual al exterior

17.6°C = Temperatura de núcleo interno (Fisiológico)

0.31 = Clo (arropamiento)

También se compararon los rangos de confort producto del trabajo de campo con la amplitud de $\pm 1.75^\circ\text{C}$ propuesto por Auliciem y Szokolay (1997).

Se encontró que en Chihuahua la Tn obtenida con los datos de campo en invierno es 3.10 °C inferior a la Tn calculada de acuerdo con Auliciem. En tanto que la Tn en verano a partir de los datos de campo es 3.70 °C superior a la Tn calculada de acuerdo con Auliciem (Tabla 4).

En Juárez Tn que se obtuvo con los datos de campo en invierno es 2.40 °C inferior a la Tn calculada según Auliciem. En tanto que Tn en verano a partir de los datos de campo es 3.20 °C superior a Tn calculada según Auliciem (Tabla 5).

Tabla 4: Resumen de Tn calculada y la obtenida en el estudio de campo en Chihuahua. Fuente: Elaboración Propia.

Table 4: Calculated and collected Tn summary obtained in Chihuahua. Source: Own Elaboration.

Concepto	Chihuahua			
	Invierno		Verano	
	Estudio de Campo	Auliciem	Estudio de campo	Auliciem
Tn	18.70	21.85	29.19	25.50
Límite inferior	16.20	20.10	27.44	23.75
Límite superior	21.41	23.60	30.89	27.25
Rango ajustado	5.22	3.50	3.45	3.50

Tabla 5: Resumen de Tn calculada y la obtenida en el estudio de campo en Juarez. Fuente: Elaboración Propia.

Table 5: Calculated and collected Tn summary obtained in Juarez. Source: Own Elaboration.

Concepto	Juarez			
	Invierno		Verano	
	Estudio de Campo	Auliciem	Estudio de campo	Auliciem
Tn	18.45	20.80	29.54	26.36
Límite inferior	17.14	18.30	27.33	24.61
Límite superior	19.96	23.30	31.44	28.11
Rango ajustado	2.82	3.50	4.11	3.50

En invierno el 91 % de la gente entrevistada en Chihuahua y el 90 % en Ciudad Juárez consideran desde tolerable a perfectamente

tolerable el ambiente térmico dentro de sus casas en el momento de la encuesta. En verano se redujo a un 73 % en Chihuahua y el 82 % en Ciudad Juárez en el mismo concepto.

La Tn encontrada en el trabajo de campo en la temporada de invierno en ambas ciudades es menor que la calculada con la ecuación propuesta por Auliciem, mientras que en la temporada de verano esta situación es inversa. Esta condición de adaptación de las personas encuestadas puede deberse a la poca presencia de humedad, pues la amplitud de la temperatura diaria es muy alta, por lo que las personas de estas latitudes requieren adaptarse rápidamente a esos cambios de temperatura.

5. Propuestas

La similitud de las temperaturas preferidas (Tn) encontradas en ambas ciudades del estudio en las dos temporadas, excepto en el rango ajustado de invierno en Chihuahua donde es mayor el rango, nos permite hacer propuestas similares para ambas ciudades.

Para el invierno las estrategias son: calentamiento convencional, calentamiento solar, uso de materiales con masa térmica, aislamiento térmico, control de la ventilación y humidificación (Fig. 14 y 15).

Para la temporada de verano las estrategias principales son: calentamiento solar por las mañanas, uso de materiales con masa térmica, ventilación selectiva, enfriamiento convectivo nocturno, enfriamiento radiativo nocturno y enfriamiento evaporativo (Fig.16 y 17).

6. Conclusiones

Los porcentajes de votos que se encuentran dentro de los rangos de confort, resultado de esta investigación, permiten tomar decisiones pertinentes para lograr niveles de confort térmico adecuados y una reducción significativa del consumo de energía a través de la toma de decisiones pertinentes en el proceso del diseño arquitectónico.

La tolerancia del clima interior indica que las personas consideran que sus casas están en mejores condiciones climáticas en invierno que en verano. Sin embargo, el 70 % y el 78 % en invierno y un 58 % y un 56 % en verano en Chihuahua y en Ciudad Juárez respectivamente, eran tolerables, lo que significa un alto número de personas en el límite de la aceptación de sus viviendas.

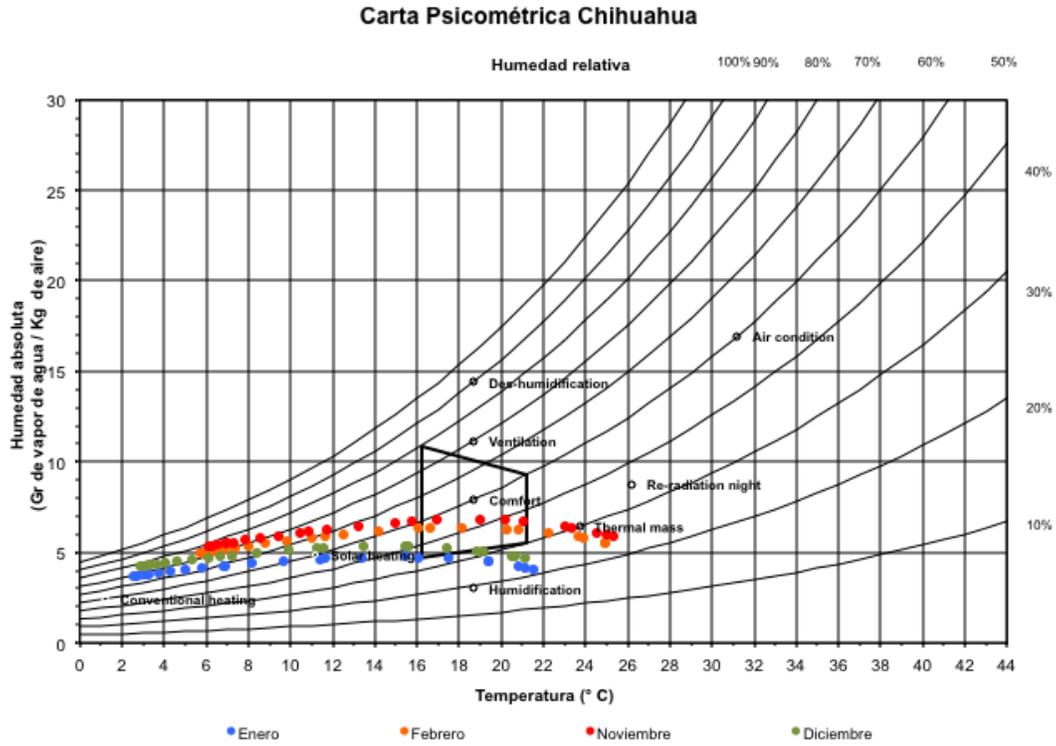


Figura 14: Carta Psicométrica. Invierno Chihuahua. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 14: Psychrometric chart. Winter in Chihuahua. Source: Own Elaboration

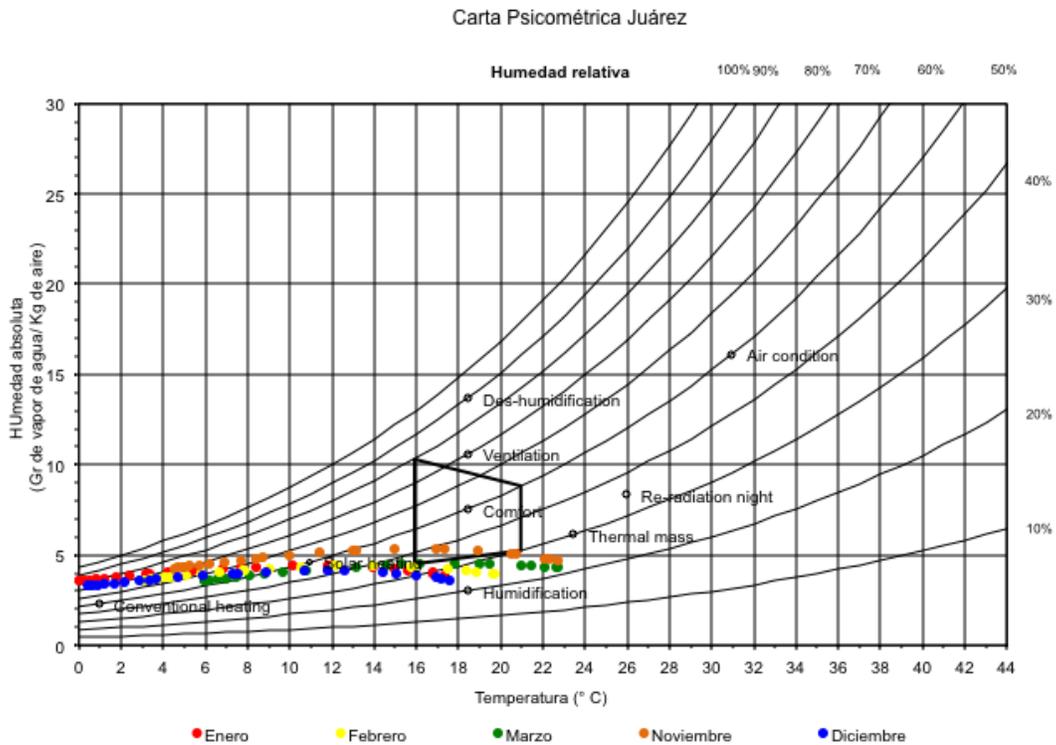


Figura 15: Carta Psicométrica. Invierno Juárez. Fuente: elaboración propia.
Figure 15: Psychrometric chart. Winter in Juárez. Source: Own Elaboration

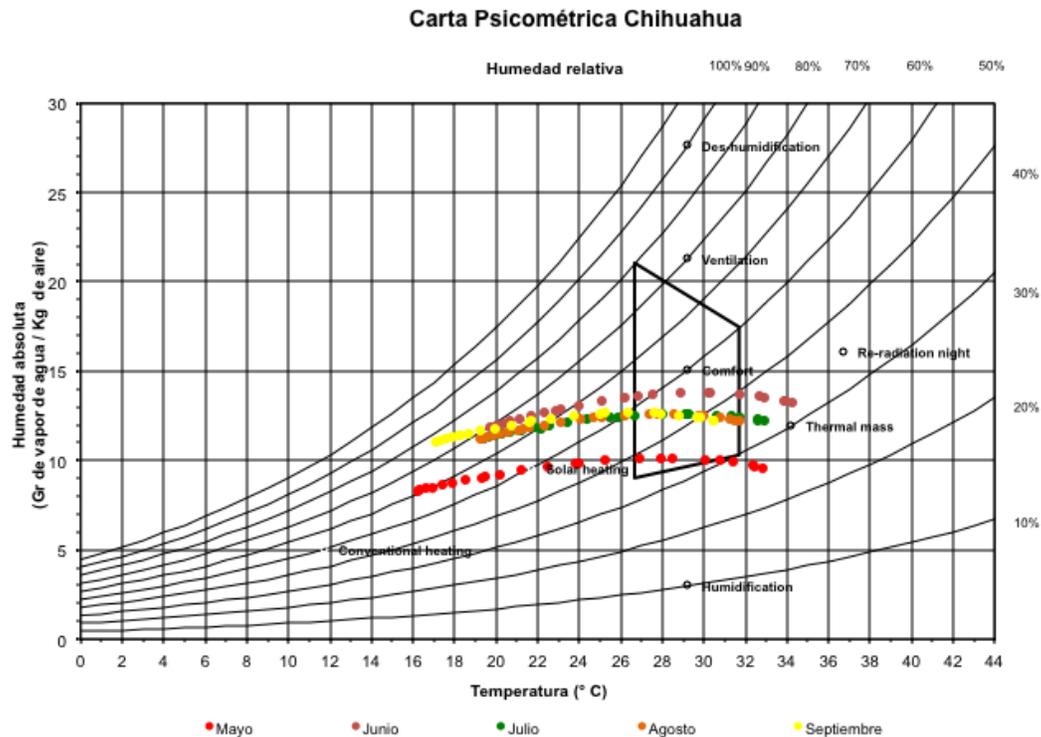


Figura 16: Carta Psicométrica. Verano Chihuahua. Fuente: elaboración propia.
Figure 16: Psychrometric chart. Summer in Chihuahua. Source: Own Elaboration

Entre las propuestas arquitectónicas complementarias para mejorar las condiciones del comportamiento térmico de las viviendas actuales, producto de esta investigación, enumeramos las siguientes:

- La correcta orientación y dimensiones de las aberturas.
- Ampliar el espesor de muros con materiales con masa térmica.
- Aislamiento en cubiertas.
- Protección solar en ventanas.
- Mejorar la ventilación, por lo que puertas, paredes interiores y el diseño de las ventanas exteriores, debe mejorar.
- Mayor altura interior.

Es necesario ampliar este estudio con el mismo análisis pero usando la temperatura operativa, que relaciona la temperatura del aire y la temperatura de globo. Además es necesario determinar la humedad preferida o higropreferendum para este tipo de clima.

Agradecimientos

A Antonio Martínez director del Instituto de la Vivienda de Gobierno del Estado de Chihuahua, periodo 2004-2010.

Referencias Bibliográficas

- American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers. ANSI/ASHRAE 55-2004: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta.
- Auliciems. (1981). Towards a psycho-physiological model of thermal perception - Int J of Biometeorology. 109-122
- Auliciems y S. Szokolay (1997). Thermal Comfort – PLEA Notes. Note 3. Passive and Low Energy Architecture International. Design tools and techniques.
- Brager, G. y de Dear, R. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. Energy and Buildings, 27, 83-96.
- Gómez-Azpeitia, G. Bojórquez, P. Ruiz, R. Romero, J. Ochoa, M., Pérez, O. Reséndiz y A. (2009) Llamas - Comfort Temperatures inside Low-Cost Housings: Case: Six Warm Climate Cities in Mexico. In: Architecture Energy and the Occupant's Perspective. Proceedings of the 26th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Les Presses de l'Université Laval, Quebec, Canada. 498-503.

Herrera, L. (2004). *Arquitectura: una Nueva Relación con el Contexto, Recomendaciones Bioclimáticas para el Mejoramiento del Confort Térmico para Chihuahua*. Tesis de maestría publicada. Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura. Coquimatlán.

Herrera, L. (2009). *Evaluación de Estrategias Bioclimáticas Aplicadas en Edificios y su Impacto en la Reducción del Consumo de Agua en Equipos de Enfriamiento Evaporativo Directo*. Tesis de doctorado publicada. Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura. Coquimatlán.

ISO 10551 (1995). *Assessment of the influence of the*

thermal environment using subjective judgement scales – Standards Organization, Geneva.

ISO 7726 (1998). *Thermal environment-Instruments and methods for measuring physical quantities* – Standards Organization, Geneva.

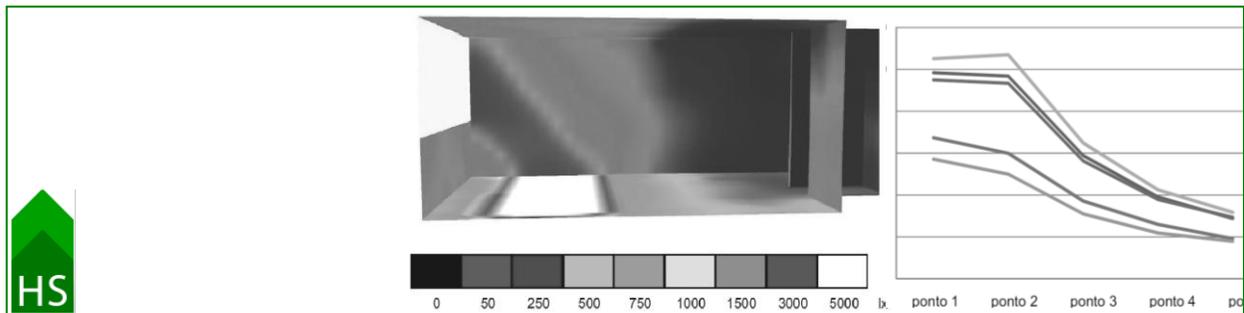
J.F. Nicol (1993) *Thermal comfort "A handbook for field studies toward an adaptive model"*. University of East London- London.

Recibido: 30|04|2013

Aceptado: 30|05|2013

Análise da utilização de prateleiras de luz em Vitória-ES (Brasil)

Analysis of the use of lightshelves in Vitoria-ES (Brazil)



Ricardo Nacari Maioli ricardomaioli@uol.com.br

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Espírito Santo - Brasil

Cristina Engel de Alvarez cristinaengel@pq.cnpq.br

Laboratório de Planejamento e Projetos – Centro de Artes – Universidade Federal do Espírito Santo - Brasil



RESUMO

Palabras Claves
Simulação Computacional
Prateleiras de luz
Sala comercial
Iluminâncias

A pesquisa partiu da premissa que as edificações comerciais da cidade de Vitória estão sendo construídas com uma tipologia arquitetônica não adequada ao clima quente e úmido, prejudicando o desempenho de tarefas por parte dos usuários e gerando gastos energéticos desnecessários. As prateleiras de luz podem aperfeiçoar o uso da luz natural dentro das salas comerciais, minimizando os efeitos do clima local. O objetivo deste trabalho é comparar o desempenho das prateleiras de luz com a tipologia construtiva praticada no mercado da região. Para tal fim, foram desenvolvidos dois modelos de sala padrão, baseadas na tipologia encontrada nas edificações, através do software DIALux de simulação computacional, sendo um com prateleiras de luz internas e externas e outro com vidro refletivo. Foram analisadas as iluminâncias em 5 pontos de cálculo no interior da sala e comparados os resultados, comprovando a eficiência das prateleiras em uniformizar a luz no interior do ambiente e evitar ganhos térmicos e desconforto visual por excesso de iluminação.

ABSTRACT

Key Words
Computer simulation
Lightshelves
Office room
Illuminance

Office buildings in the city of Vitoria are being built with an architectural typology that is not appropriate for hot and humid climate, affecting the performance of the users and generating unnecessary energy consumption. Lightshelves can improve the use of natural light inside the office rooms, minimizing the effects of local climate. The objective of this study is to compare the performance of lightshelves in building typologies practiced in the region. For this, two models were developed for a standard room, based on the type found in buildings, through the computer simulation software DIALux; one with internal and external lightshelves and the other with reflective glass. Illuminance levels were analyzed in five calculation points inside the room and the results compared, proving the efficiency of the lightshelves for the uniformity of the light inside the room and to avoid thermal gains and visual discomfort.

1. Introdução

O aumento dos preços da energia em conseqüência ao embargo do petróleo em 1973 forçou uma reavaliação das práticas de uso da energia (Lamberts et al., 1997) e o posterior agravamento da crise levou essa preocupação inclusive para a construção civil. Tornou-se evidente a ineficiência dos projetos executados na época em virtude, dentre outros fatores, da

utilização indiscriminada de energia (Cândido, et. al., 2005).

Esses fatores fizeram com que países desenvolvidos da Europa e América do Norte criassem leis relacionadas à busca de eficiência energética e programas de avaliação ambiental, nas quais as edificações eram submetidas a metas de consumo e desempenho (Santos, 2007).

A tipologia arquitetônica presente nas edificações comerciais na Região Metropolitana da Grande Vitória é baseada no padrão internacional, apresentando fachadas com grandes áreas envidraçadas visando atender os desejos estéticos do mercado. Entretanto, a cidade de Vitória, localizada a 20°16' S latitude, está situada entre a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, sendo caracterizada pelo clima quente e úmido, apresentando altas temperaturas ao longo do ano e altos índices de umidade relativa, diferentemente dos países europeus e norte-americanos. Segundo a NBR 15220-3 (2005), que trata do zoneamento bioclimático brasileiro, a região se situa na Zona Bioclimática 08, na qual uma das diretrizes construtivas é sombrear as janelas.

Segundo Corbella e Yannas (2003), diferentemente de regiões com característica de céus com pouca luminosidade, nas regiões tropicais deve-se controlar a radiação solar direta, evitando assim altos índices de iluminâncias, ofuscamento, altos contrastes e ganhos térmicos no interior das edificações. O principal fator de ganho térmico em um ambiente é a radiação que penetra pelos fechamentos transparentes.

O vidro refletivo, largamente utilizado nas edificações comerciais de maior porte da região, proporciona redução considerável das temperaturas no interior das construções, entretanto causa ofuscamento no entorno imediato e redução da presença de luz natural no espaço interno (Lima et al., 2009).

Segundo Santos (2007), para se reduzir o ganho térmico e o desconforto em regiões de clima quente não se pode contar apenas com o vidro e o uso de elementos sombreadores se torna fundamental para o bom desempenho térmico da edificação.

Nas edificações em altura, a iluminação natural lateral é a mais utilizada e tem como uma de suas características uma distribuição de iluminâncias desigual no ambiente interno. A luz que atinge o plano de trabalho nos escritórios, não deve atingir contrastes excessivos, com variações das luminâncias menores que a proporção 10:1 (Ruck et al., 2000). Assim, para se obter uma distribuição mais uniforme da luz natural no espaço interno, proveniente das janelas, pode-se adotar como estratégia a utilização de prateleiras de luz (Vianna & Gonçalves, 2001; Baker, et. al., 2010; Freewan, 2010).

De acordo com Hopkinson et al. (1975) e Baker et al. (2010) a luz natural no interior das edificações provém dos seguintes componentes externos: a luz do sol, a luz do céu e a luz refletida no piso e em outras superfícies externas.

2. Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é comparar o desempenho de aberturas com prateleiras de luz em relação às janelas de vidro refletivo em um ambiente de trabalho. A análise de desempenho é realizada ainda, através da verificação da capacidade do primeiro dispositivo em uniformizar a iluminação natural dentro de uma sala comercial.

3. Método

A metodologia utilizada baseia-se em comparações dos níveis internos de iluminação natural através de simulações computacionais com o auxílio do programa DIALux, versão 4.9.0.1. Esse software foi selecionado em função de possuir uma interface amigável (Ekren et al., 2008); simular modelos em 3 (três) dimensões com cálculos para radiação solar direta, difusa, reflexões da luz nos objetos e superfícies internas e externas e por permitir ainda editar algumas propriedades dos vidros. Além desses fatos, segundo Acosta, Navarro e Sendra (2011), o software tem representação e presença mundial; é empregado profissionalmente e tem opções de cálculo muito precisas.

Os tipos de céu utilizados pelo software correspondem a CIE (Comission Internationale de l'Eclairage, Grã-Bretanha) 110-1994 "Spatial Distribution of Daylight – Luminance Distributions of Various Reference Skies". Foram utilizados três tipos de céu para as simulações: o céu claro; o céu encoberto; e o céu parcialmente encoberto (classificado como "mesclado" pelo software). No primeiro tipo utilizou-se a opção que contempla a radiação solar direta.

Para definir as características do ambiente tipo a ser analisado, foram pesquisados os modelos básicos de salas comerciais existentes, bem como as tipologias atualmente propostas em edifícios em fase de lançamento ou em construção, visando o estabelecimento de parâmetros coerentes com a oferta do mercado local.

Para o primeiro modelo simulado, a sala foi definida com uma janela em toda sua largura (4,60m), com altura de 1,60m e peitoril de 1,10m.

A abertura é composta por vidro refletivo com transparência de 29% e grau de reflexão de 61%. Optou-se por um pé-direito de 2,70m e pelas superfícies das paredes e teto brancos com grau de reflexão de 78% e pelo piso, definido como “padrão” pelo software, com 20% de refletância. Dentro da geometria da sala foi prevista uma copa com acesso ao lavabo e duas portas, sendo uma de acesso a este último e outra no hall da sala, ambas com grau de reflexão de 52%.

O segundo modelo de ambiente simulado tem as mesmas características geométricas e de layout do primeiro, porém com prateleiras de luz em seu interior e exterior, sendo a superfície superior desta com grau de reflexão de 88% e as outras superfícies com 30%. O dispositivo foi projetado a 1,00m do peitoril da abertura, com largura interna ao ambiente de 0,70m, externa de 0,95m e com 10cm de espessura. A porção exterior da prateleira foi dotada de uma curvatura, conforme Figura 1, para auxiliar o redirecionamento da luz proveniente do zênite ou próxima a este ponto da abóbada celeste. Neste modelo foi adotado um vidro incolor, com transparência de 78% e 6% de grau de reflexão.

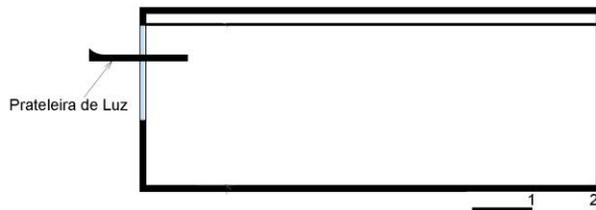


Figura 1: Corte transversal da sala com prateleiras de luz interna e externa. Fonte: Elaboração própria.

Figure 1: Longitudinal section of the office with internal and external lightshelves. Source: Own elaboration.

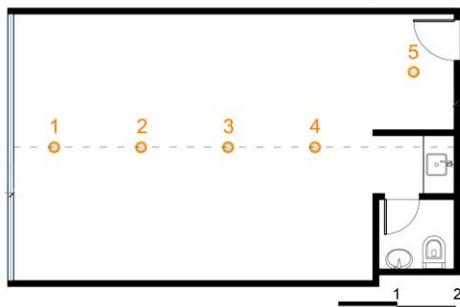


Figura 2: Planta baixa da sala e indicativo pontos de cálculo. Fonte: Elaboração própria.

Figure 2: Floorplan of the office with indicative of calculation points. Source: Own elaboration.

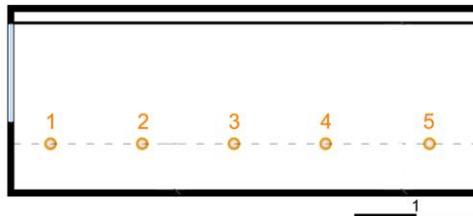


Figura 3: Corte longitudinal da sala com altura do plano de trabalho e indicativo dos pontos de cálculo. Fonte: Elaboração própria.

Figure 3: Longitudinal section of the office with indicative of calculation points at work plane. Source: Own elaboration

Dentro dessas salas foram escolhidos 5 pontos de cálculo, sendo quatro alinhados no eixo da sala, distantes 1,5m entre si, e um centralizado no hall de entrada, conforme demonstrado nas Figuras 2 e 3. A altura de trabalho considerada é de 0,75m e os pontos de medição foram definidos com o objetivo de verificar os níveis de iluminância a partir do distanciamento da janela.

Para comparar o desempenho da tipologia existente com um modelo contendo o dispositivo prateleira de luz na abertura, foram simuladas as duas salas, nas orientações Norte e Sul (azimutes 0 e 180° respectivamente), nas quais a proteção pode influenciar na radiação solar direta incidente no ambiente, mantendo contato visual exterior e expondo o ocupante à iluminação natural, que é benéfica à saúde (Keeler & Burke, 2010).

Os dias definidos para as simulações foram o 22 de dezembro (solstício de verão), o 21 de março (equinócio de outono) e o 22 de junho (solstício de inverno) e os horários escolhidos para cada dia foram 8h, 10h, 12h, 14h e 16h.

Nas simulações desta pesquisa, somente foram consideradas as componentes provenientes do sol e da abóbada celeste, sem obstrução de parte do céu por obstáculos construídos ou naturais, visto que dentro das cidades, as parcelas de luz refletidas podem variar bastante em virtude das variações de pavimentação, revestimento da envoltória e altura das construções do entorno, etc.

4. Análise de resultados

4.1 Modelo sem prateleiras de luz

Os resultados foram analisados e comprovam altos índices de iluminâncias (lux) no interior da sala em algumas horas simuladas nos modelos sem prateleiras de luz, como pode ser observado nas Figuras 4 e 5, o que gera ofuscamento e desconforto ao usuário.

Mesmo nestes modelos compostos por janela com vidro refletivo, no ponto 1, mais próximo à abertura, a simulação atingiu um valor de 9765 lux em um dos horários estudados, destacando-se que, conforme Pereira e Souza (2000) e Vianna e Gonçalves (2001), recomenda-se níveis de iluminação inferiores a 2000 lux, valor considerado como ponto de saturação, a fim de evitar a fadiga visual.

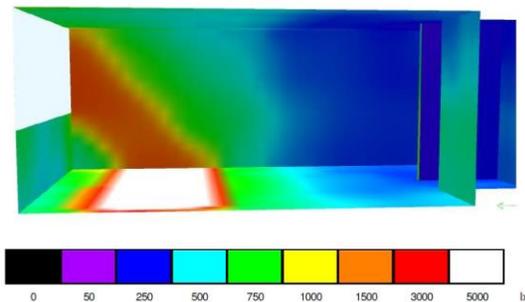


Figura 4: Simulação em cores falsas da sala Norte, sem prateleiras de luz, no solstício de inverno às 12h. Fonte: Elaboração própria.

Figure 4: Simulation in false colors of the north-facing office, without lightshelves, in the winter solstice at 12. Source: Own elaboration

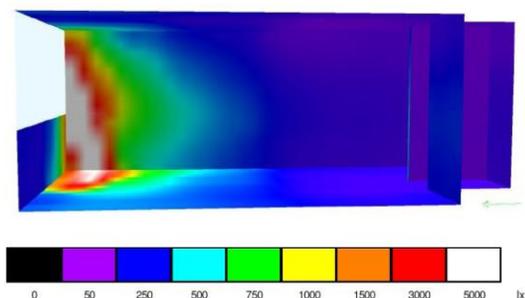


Figura 5: Simulação em cores falsas da sala Sul, sem prateleiras de luz, no solstício de verão às 8h. Fonte: Elaboração própria.

Figure 5: Simulation in false colors of the south-facing office, without lightshelves, in the summer solstice at 8am. Source: Own elaboration

Foi constatada ainda uma distribuição não uniforme no plano de trabalho com proporção de iluminâncias, entre o ponto que recebe mais luz e o que recebe menos luz, com uma média superior a 10:1, chegando a atingir, em determinados horários, proporções superiores a 30:1 (Figuras 6 e 7).

Nas simulações do ambiente sem as prateleiras de luz os baixos níveis de iluminância foram observados devido ao baixo índice de transmissividade do vidro (29%). Os resultados apresentaram em 70% do total das horas

simuladas medições abaixo de 300 lux, valor considerado como necessário para tarefas visuais simples (ABNT, NBR-5413, 1992). Os pontos que apresentaram maior frequência de valores de iluminâncias abaixo de 300 lux foram os pontos 3, 4 e 5, posicionados mais afastados da abertura.

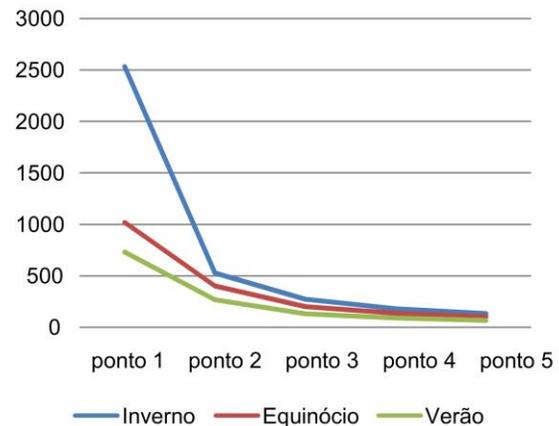


Figura 6: Gráfico de distribuição das iluminâncias médias da sala Norte sem prateleiras de luz. Fonte: Elaboração própria.

Figure 6: Graph of distribution of the average illuminance of the north-facing office without lightshelves. Source: Own elaboration

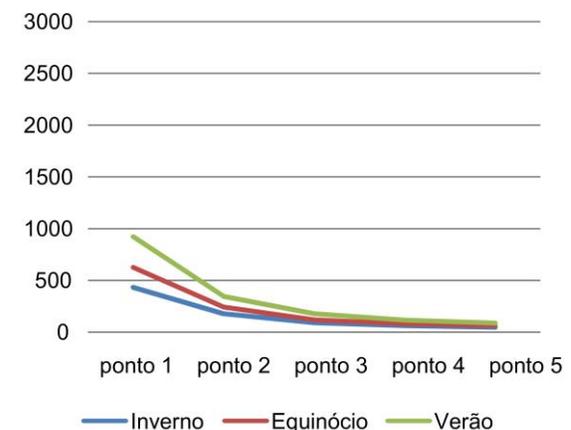


Figura 7: Gráfico de distribuição das iluminâncias médias da sala Sul sem prateleiras de luz. Fonte: Elaboração própria.

Figure 7: Graph of distribution of the average illuminance of the south-facing office without lightshelves. Source: Own elaboration.

A pior situação entre os modelos simulados foi na da sala com orientação Sul no dia 22 de junho com o céu claro, como pode ser observado na Tabela 1. Neste dia a maior iluminância obtida foi de 377 lux a média total de 150,6 lux, sendo assim necessária uma complementação com a luz artificial para atingir níveis satisfatórios dentro do ambiente, mesmo com disponibilidade de luz natural externa.

Tabela 1: Iluminância em lux da simulação da sala Sul no dia 22/06 com céu claro. Fonte: Elaboração própria.

Table 1: Illuminance in lux of the south-facing office simulation on June 22 with clear skies. Source: Own elaboration.

Pontos de Iluminâncias	Iluminâncias (lx)				
	8h	10h	12h	14h	16h
ponto 1	288	374	377	366	223
ponto 2	156	208	210	203	121
ponto 3	91	126	127	122	70
ponto 4	67	91	93	88	51
ponto 5	51	72	76	72	42

O único ponto que apresentou iluminância média acima de 500 lux necessários para o iluminamento de um escritório, segundo a NBR-5413 (1992) foi o ponto de cálculo 1 (um) localizado próximo à abertura. Os demais apresentaram uma média geral abaixo deste valor.

Os dois pontos mais afastados da abertura atingiram níveis bastante baixos de iluminação natural, principalmente nas simulações de céu encoberto cujo nível não alcançou 100 lux em nenhum horário considerado. Este tipo de céu também não foi favorável a uniformização da iluminação interna, obtendo assim contrastes de pouco mais de 14:1 em 100% dos horários simulados.

As salas das duas orientações, Norte e Sul, obtiveram melhor desempenho na uniformidade das iluminâncias no plano de trabalho nas simulações com céu claro, com exceção da simulação da sala Norte no solstício de inverno, que atingiu níveis superiores a 3000 lux em 80% das horas simuladas e conseqüentemente, resultou em um grande contraste entre o primeiro e último ponto, conforme Figura 8.

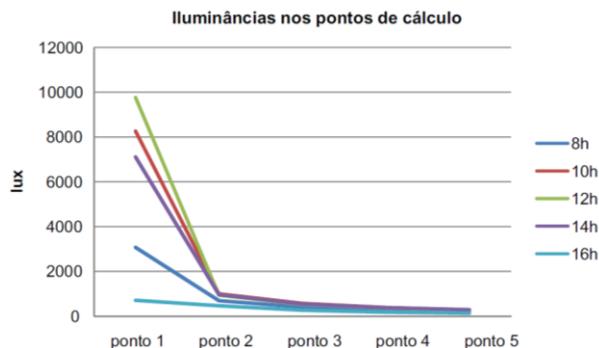


Figura 8: Gráfico de distribuição das iluminâncias da Sala Norte, sem prateleiras de luz, no solstício de inverno para céu claro. Fonte: Elaboração própria.

Figure 8: Graph of illuminance distribution of the north-facing office without lightshelves, in the winter solstice for clear skies. Source: Own elaboration.

Outro problema apresentado foi o alto índice de radiação solar direta no interior do ambiente que, segundo Frota e Schiffer (1999), deve ser evitada em climas quentes, prevenindo-se assim, ganhos demasiados de calor. Esse fato foi observado em 50% das horas simuladas para céu claro, sobretudo no ponto 1, localizado próximo à abertura, sendo a pior situação registrada na sala norte, onde esse índice atingiu 66%. O maior percentual de horas com radiação solar direta na sala Norte pode ser creditado a localização da região simulada no hemisfério Sul, onde a trajetória solar predomina na porção norte da abóboda celeste. Nas simulações de céu mesclado e encoberto não é utilizada pelo *software* a radiação solar direta.

4.2 Modelo com prateleiras de luz

Nas simulações do modelo com o dispositivo de proteção e redirecionamento de luz consegue-se perceber uma distribuição mais uniforme da luz natural no plano de trabalho e não é mais percebida a presença da radiação solar direta dentro do ambiente, o que somente ocorreu em aproximadamente 10% das horas simuladas com céu claro. Esse fato ocorreu apenas no modelo simulado orientado para o Norte e no solstício de inverno, quando as prateleiras de luz projetadas, em função do ângulo da altura solar em determinados horários, não consegue bloquear totalmente a radiação solar direta. Nesses horários, parte dos raios solares atinge diretamente a porção da sala próxima à abertura, produzindo uma faixa de brilho mais intenso, acima de 2000 lux, sobretudo nas laterais do ambiente, ou seja, nas paredes e áreas próximas a estas. Os horários de maior ocorrência desse fenômeno são às 8h e às 16h.

No modelo simulado (Figura 09) percebe-se uma distribuição mais uniforme, com contrastes na proporção 3,3:1 no plano de trabalho, e atingindo, no solstício de inverno, índices de 483 e 390 lux nos pontos 4 e 5, respectivamente, mais afastados da janela. Aliada a distribuição uniforme, a ausência da radiação solar direta penetrando pelo vidro possibilitou um nível de 1292 lux no ponto 1, próximo à abertura, sem causar ofuscamento por excesso de iluminâncias.

Como pode ser observada na Figura 10, a maior presença de luminâncias se encontra no teto, na região próxima à abertura, em virtude do rebatimento da luz através das prateleiras. O teto iluminado, por sua vez, funcionará como uma luminária, fornecendo luz difusa para o restante

do ambiente, proporcionando assim, uma iluminação mais uniforme no piso e no plano de trabalho.

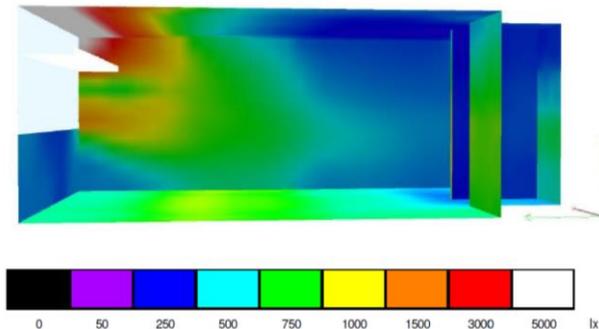


Figura 9: Simulação em cores falsas da sala Norte, com prateleiras de luz interna e externa no dia 22 de junho (solstício de inverno) às 12h. Fonte: Elaboração própria.

Figure 9: Simulation in false colors of the north-facing office with internal and external lightshelves on June 22 (winter solstice) at 12. Source: Own elaboration.

Nos modelos com os dispositivos de proteção e distribuição de luz, a proporção de iluminâncias, entre o ponto que recebe mais luz e o que recebe menos luz no plano de trabalho atingiu com uma média geral de 3,72:1, chegando a atingir, em determinados horários, proporções inferiores a 2,5:1. Esses dados comprovam a capacidade de uniformização na distribuição da luz interna com o uso das prateleiras de luz, principalmente em dias claros, com a presença da radiação solar direta, nos quais os dispositivos apresentam melhor desempenho, conforme verificado na Tabela 2 e na Figura 10.

Tabela 2: Iluminância (E) em lux da simulação da sala Norte, com prateleiras de luz, no dia 21/03 com céu claro. Fonte: Elaboração própria.

Table 2: Illuminance (E) in lux of the simulation of the north-facing office with lightshelves on March 21 with clear skies. Source: Own elaboration.

Pontos de Iluminâncias	Iluminâncias (lx)				
	8h	10h	12h	14h	16h
ponto 1	673	984	1051	950	571
ponto 2	599	968	1070	934	499
ponto 3	371	588	648	562	309
ponto 4	259	390	424	378	218
ponto 5	191	287	317	293	178
E média	419	644	702	623	355
E máx/E mín	3,52	3,43	3,38	3,24	3,21

As médias gerais das iluminâncias no plano de trabalho das duas orientações apresentam um alcance maior da iluminação natural nos pontos mais afastados da janela, em virtude dos

dispositivos de proteção e redirecionamento de luz. Proporcionalmente, os pontos de cálculo 2, 3, 4 e 5 obtiveram ganhos consideráveis de iluminâncias.

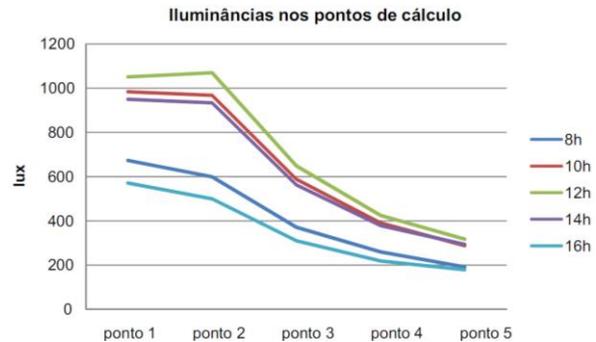


Figura 10: Gráfico de distribuição das iluminâncias na sala Norte, com prateleiras de luz, no dia 21/03 (equinócio) com céu claro. Fonte: Elaboração própria.

Figure 10: Graph of distribution of illuminance in the north-facing office with lightshelves on March 21 (equinox) with clear skies. Source: Own elaboration.

Tabela 3: Resultados de ganhos de iluminâncias nos modelos simulados. Fonte: Elaboração própria.

Table 3: Results of gain illuminances in simulated models. Source: Own elaboration.

Pontos de cálculo	Sala sem prateleiras de luz	Sala com prateleiras de luz	Ganho percentual de iluminâncias
Sala Norte			
ponto 1	1427,91	775,3	-46%
ponto 2	398,04	506,3	27%
ponto 3	200,84	315,4	57%
ponto 4	135,33	221,0	63%
ponto 5	101,07	177,4	76%
Sala Sul			
ponto 1	659,80	493,1	-25%
ponto 2	255,02	400,6	57%
ponto 3	128,71	251,3	95%
ponto 4	85,86	174,9	104%
ponto 5	64,93	139,7	115%

Somente no ponto de cálculo 1 houve redução no percentual de iluminância no modelo com prateleiras de luz. Isso se deve ao fato do dispositivo citado obstruir a entrada da radiação solar direta e conseqüentemente, baixar os índices de iluminância em tal medição. Entretanto, mesmo com as prateleiras obstruindo a radiação direta, parte desta ainda consegue penetrar pela abertura quando o Sol está em um ângulo de altura solar baixo, configurando manchas solares nas paredes e no plano de trabalho, elevando os índices de iluminância do ponto 1, principalmente

na sala com orientação Norte. Esse fato pode ser verificado na Figura 11, na linha azul, correspondente ao dia 22 de junho (solstício de inverno). Entretanto, essa situação não ocorre na sala com orientação Sul (Fig.12).

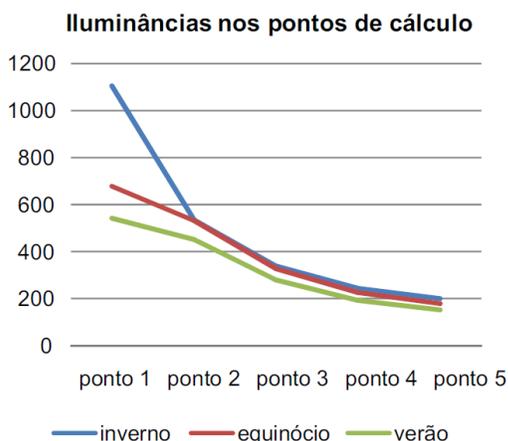


Figura 11: Gráfico de distribuição das iluminâncias médias da sala Norte com prateleiras de luz. Fonte: Elaboração própria.
Figure 11: Graph of distribution of average illuminance in north-facing office with lightshelves. Source: Own elaboration.

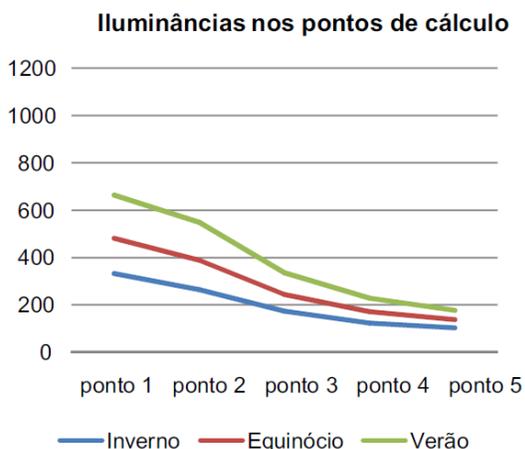


Figura 12: Gráfico de distribuição das iluminâncias médias da sala Sul com prateleiras de luz. Fonte: Elaboração própria.
Figure 12: Graph of distribution of average illuminance in south-facing office with lightshelves. Source: Own elaboration.

Na análise das simulações dos modelos com as prateleiras nas orientações Norte e Sul observa-se uma média geral mais uniforme e com um nível de iluminâncias nos pontos 3, 4 e 5 abaixo dos 300lux (Fig.13), necessitando, com isso, de iluminação artificial complementar para tarefas visuais simples em 79% dos horários simulados em que esse índice não é alcançado.

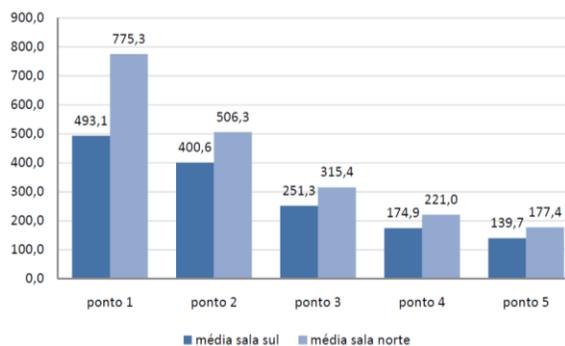


Figura 13: Gráfico de distribuição das iluminâncias médias (lux) das duas orientações com prateleiras de luz. Fonte: Elaboração própria.

Figure 13: Graph of distribution of average illuminance (lux) in both-facing offices with lightshelves. Source: Own elaboration.

5. Conclusões

Os resultados obtidos demonstram uma maior uniformidade na iluminação interna dos modelos com prateleira de luz, sendo que estes modelos simulados apresentam melhor desempenho quando comparados com os modelos em vidros refletivos atualmente utilizados no mercado regional.

Nas simulações sem prateleiras de luz foi observada uma forte presença da radiação solar direta nos pontos de cálculo próximos à abertura, causando desconforto visual por ofuscamento e acarretando ganhos térmicos para o interior da edificação. Entretanto, nos modelos simulados com prateleiras de luz os ganhos térmicos seriam reduzidos, pois os vidros, principais responsáveis pelos ganhos térmicos de uma edificação (Lamberts et al., 1997), estariam na sombra a maior parte das horas em virtude das prateleiras de luz externas.

Contudo, essa proteção externa, não consegue impedir que a radiação solar direta penetre algumas horas do ano, sugerindo que o desenho das prateleiras tenha que sofrer alterações em função da orientação ou ainda, a necessidade de adoção de proteções internas reguláveis sob as prateleiras de luz – como persianas, por exemplo –, bloqueando a radiação no plano de trabalho nas horas indesejadas. No entanto, esse dispositivo, quando acionado, trará um prejuízo parcial na penetração da iluminação natural, visto que a área envidraçada sob a prateleira contribui para a captação da luz natural para o interior do ambiente, e a parcela de vidro sobre a prateleira de luz deve estar desobstruída, mantendo o seu papel original.

Os dispositivos de proteção e redirecionamento de luz natural se mostraram mais eficientes que os modelos simulados com vidro refletivo, pois conseguiram minimizar a presença da radiação solar direta e uniformizar a distribuição das iluminâncias no plano de trabalho, conforme demonstrado nas Figuras 14 e 15. Porém, o que se mostrou mais eficiente foi o dispositivo implantado na sala com orientação Norte, visto que esta parcela da abóbada celeste possui maior predominância da trajetória solar na latitude da região estudada (20° S).

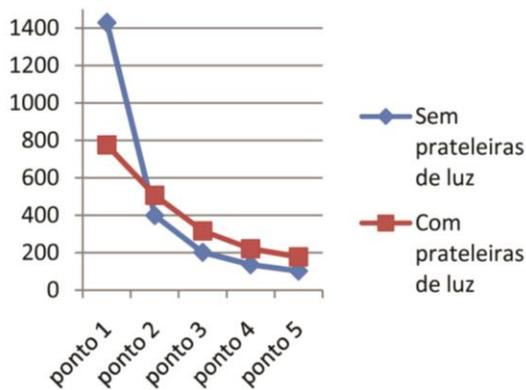


Figura 14: Média das iluminâncias da sala Norte. Fonte: Elaboração própria.

Figure 14: Average illuminance in north-facing office. Source: Own elaboration.

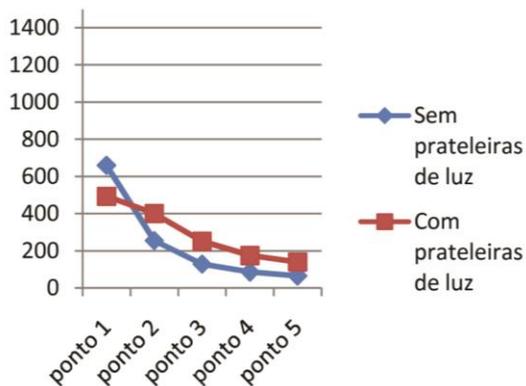


Figura 15: Média das iluminâncias da sala Sul. Fonte: Elaboração própria.

Figure 15: Average illuminance in south-facing office. Source: Own elaboration.

Apesar da uniformização da iluminação natural no ambiente de trabalho, ainda é necessária uma complementação da mesma com luz artificial para se atingir níveis satisfatórios de iluminância em alguns pontos no interior do ambiente, em determinadas horas do dia e dias

do ano, sendo que a prateleira de luz apresentou melhores índices de desempenho na sala Norte em virtude da trajetória solar predominante nessa região da abóboda celeste para a latitude estudada. Entretanto, vale ressaltar a importância da separação por pontos dos circuitos elétricos de acionamento da iluminação artificial dentro do ambiente de trabalho, para serem acionados quando necessário, sem desperdício de energia elétrica.

Os resultados obtidos com a pesquisa permitem afirmar que, para as condições analisadas, é possível desenvolver projetos bioclimáticos, energeticamente eficientes, aproveitando a iluminação natural e integrando-a com a artificial, sendo um pré-requisito fundamental o efetivo conhecimento do clima e dos condicionantes e potencialidades locais.

Agradecimentos

O apoio financeiro da Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), através da bolsa de mestrado, que permitiu o desenvolvimento da pesquisa.

Referências Bibliográficas

Acosta, I., Navarro, J., & Sendra, J. J. (2011). Towards an analysis of daylighting simulation software. *Energies*, 4, 1010-1024.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR-5413: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro: Autor.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). NBR 15.220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: Autor.

Baker, N., Fanchiotti, A., & Steemers, K. (2010). *Daylighting in Architecture – A European Reference Book*. London: Earthscan Ltd.

Cândido, C., Torres, S., & Cabús, R. (2005). Análise da utilização de prateleiras de luz em edifício de pesquisas da UFAL, Maceió-AL. In: ENCAC – ELACAC 2005, 83-91. Anais... Maceió.

CIE - Commission Internationale de l'Eclairage (2002). *Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky*. CIE. Wien.

Corbella, O., & Yannas, S. (2003). *Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos*. Rio de Janeiro: Revan.

Ekren, N., Dursun, B., & Aykut, E. (2008). *Lighting Computer Programs in Lighting Technology*. Gazi University Journal of Science, 21(1), 15-20.

Freewan, A. A. (2010). Maximizing the lightshelf performance by interaction between lightshelf

geometries and curved ceiling. *Energy Conversion and Management*, 51, 1600-1604.

Frota, A. B., & Schiffer, S. R. (1999). *Manual de conforto térmico*. (3a ed.). São Paulo: Studio Nobel.

Hopkinson, R.G., Petherbridge, P., & Longmore, J. (1975). *Iluminação Natural*. Lisboa: Fundação Caloust Gulbenkian.

Keeler, M., & Burke, B. (2010). *Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis*. Porto Alegre: Bookman.

Lamberts, R., Dutra, L., & Pereira, F. O. R. (1997). *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW.

Lima, T. B. S., Amorim, C. N. D., & Chaim, G. M. C. (2009). Simulação do desempenho energético de edifícios de escritórios em Brasília. In: XIII Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital - SIGraDi 2009, 45-47. Anais... São Paulo.

Pereira, F. R., & Souza, M. B. (2000). *Iluminação*.

Apostila da disciplina de conforto ambiental – Iluminação. UFSC: Florianópolis.

Ruck, N. et al. (2000). *Daylighting in Buildings - A source book on daylighting systems and components*. International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling Programme, Energy Conservation in Buildings & Community Systems. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley.

Santos, C. M. L. (2007). *O projeto de iluminação para edifícios de escritórios - Influência das Variáveis arquitetônicas no comportamento da luz natural e conforto visual*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Vianna, N. S., & Gonçalves, J. C. S. (2001). *Iluminação e Arquitetura*. São Paulo: Virtus.

Recibido: 24|08|2012
Aceptado: 27|02|2013

Protecciones solares y su implicancia en la demanda energética: caso edificio público en Concepción, Chile

Solar protections and their implication for energy demand: the case of a public building in Concepción, Chile



Jazmin Jara Córdova jazjaracord@gmail.com

Magister en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética - Universidad del Bío – Bío - Chile



RESUMEN

Palabras Claves
Limitación de Demanda
Energética
Estrategias Pasivas
Simulación Térmica
Protecciones Solares
Edificio Público

Determinar las ganancias solares en el vano-ventana con protecciones solares y analizar el comportamiento térmico en un edificio es un tema relativamente nuevo en el ámbito chileno. No obstante, el inadecuado manejo del control solar, en algunos casos, genera problemas de sobrecalentamiento al interior de la edificación. Esta investigación busca establecer un procedimiento que permita evaluar cuatro tipos de protecciones solares y analizar sus implicancias energéticas en un edificio público, cuya infraestructura utilizada se justifica en el desconocimiento de nuevas exigencias que hará el Estado para este tipo de edificación. Para el caso de estudio se han determinado 37 escenarios con distintos factores solares modificados, definidos a través de cálculo manual, los cuales son evaluados bajo simulación dinámica (TAS). En primera instancia se analiza el comportamiento de dos recintos y posteriormente se obtienen los resultados en relación con la demanda energética del edificio. Las protecciones solares utilizadas (voladizos, retranqueo, lamas horizontales y verticales) reducen la demanda de refrigeración de un 52 a 73% (aumentando la demanda de calefacción), sin embargo la demanda energética total (calefacción y refrigeración) disminuye de un 24 a 31%.

ABSTRACT

Key Words
Limitation of Energy Demand
Passive Strategies
Thermal Simulation
Solar protection
Public Buildings

To determine solar gains through windows openings with solar protection and to analyze the thermal performance of a building is a relatively new topic in Chile. However, inadequate solar control generates, in some cases, overheating problems in building. This research seeks to find a procedure that allows the evaluation of four types of solar protection and analyze their energy implications in a public building, where it is evident that the designer did not contemplate the new regulations states by the authorities for this type of buildings. For the case study, 37 scenarios with different modified solar factors, defined by manual calculation, were determined and evaluated through dynamic simulation (TAS). Firstly, it was analysed the performance of two rooms and then the results of energy demand of the whole building. The solar protection used (overhangs, setback, horizontal and vertical slats) reduced cooling demand from 52 to 73% (increasing heating demand) however, the total energy demand (heating and cooling) decreased from 24 to 31%.

1. Introducción

“Estudios previos demostraron que si en el decenio 2006-2015 el país redujera sólo un 1,5 % de su consumo energético en el sector de

edificios, el ahorro esperado sería de USD 3.450 millones” (Instituto de la Construcción, 2009).

La importancia de contar con estudios que verifiquen un ahorro energético en este tipo de

infraestructura es clave, considerando además que el Gobierno de Chile ha anunciado reducir en un 12 % la demanda energética antes del 2020.

Bajo este contexto, el año 2010, la Dirección de Arquitectura del MOP¹ solicitó al Instituto de la Construcción un trabajo de I+D que tuvo por objetivo “evaluar el desempeño energético y medioambiental de un conjunto de edificios públicos, los factores que lo afectan e identificar y desarrollar oportunidades de ahorro de energía” (Bobadilla, et. al. 2012, 1p), enfocado a generar manuales y guías técnicas. Otro trabajo en esa línea es el que condujo al desarrollo de “Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental para Licitaciones de Diseño y Obras de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios”, realizado por DECONUC² y CITECUBB³, el cual define valores límites, para los parámetros térmicos de la envolvente en las distintas zonas climáticas del país, donde una de las exigencias es el factor solar modificado que tiene el propósito de reducir a límites aceptables el impacto de las ganancias solares en los vanos.

Este último concepto es nuevo en nuestro país, sin embargo el poco manejo de éste genera efectos conocidos principalmente en edificios destinados a oficinas, donde la libertad proyectual en muchos casos se traduce en excesivas envolventes transparentes y altas ganancias solares. Esta situación se torna crítica cuando coincide con alta carga interna, lo que determina altas demandas de refrigeración, incluso en invierno.

Esta investigación tiene su génesis en los últimos estudios destinados a Edificación Pública, donde las exigencias de un valor límite “Factor Solar Modificado” es un concepto relativamente bajo en el ámbito profesional. Bajo este contexto se ha determinado indagar sobre Edificios Públicos en Concepción, apuntando a la elección de un edificio que preferentemente posea problemas de sobrecalentamiento en un clima conocido, por cuanto las preguntas de investigación son:

- ¿Cómo impacta en la demanda energética y el clima interior las distintas modalidades de protecciones solares factibles de

implementar en la fachada del caso de estudio en la ciudad de Concepción?

- ¿Qué protección solar y valores de factor de sombra son los más apropiados para el caso de estudio en la ciudad de Concepción?

Esta investigación tiene el objetivo de identificar un procedimiento capaz de determinar el Factor Solar Modificado (de cada ventana y protección solar por utilizar) para formular y evaluar escenarios en un edificio público emplazado en la ciudad de Concepción, el cual será analizado bajo simulación dinámica “software TAS” para establecer la implicancia de estos dispositivos solares en la demanda energética.

La metodología de la investigación se presenta en cinco fases, las cuales están enfocadas a cumplir con el objetivo (Fig. 1).

2. Desarrollo

2.1 Marco Conceptual y Referencial

El marco conceptual y referencial corresponde a los conceptos básicos y el estado del arte que respaldan la investigación. Dentro de los conceptos importantes se encuentra el Factor Solar Modificado, Factor Solar y Factor de Sombra.

- Factor Solar Modificado (F): Es el producto del “factor solar” por el “factor de sombra”.

- Factor Solar (g_{\pm}): Es el cociente entre la radiación solar que pasa por la parte semitransparente y la radiación que pasaría si el hueco estuviera libre.

- Factor de Sombra (F_s): es la fracción de radiación incidente en el hueco no bloqueada.

Asimismo, el estado del arte en relación con el control solar ha evolucionado continuamente, donde la primera aproximación corresponde al estudio de los dispositivos de sombreado “aleros y parasoles” desarrollado por Olgay y Olgay (1957), el cual permite determinar el factor de sombra de estos elementos. Posteriormente, otros autores continúan con esta misma metodología e ingresan nuevos conceptos desde el recorrido solar hasta llegar a variables como el clima y las condiciones de confort, a través de cálculo manual y mediante un software de apoyo, esto último por autores como Morillón⁴.

¹ Ministerio de Obras Públicas.

² Dirección de Extensión en Construcción de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica.

³ Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción.

⁴ Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM.

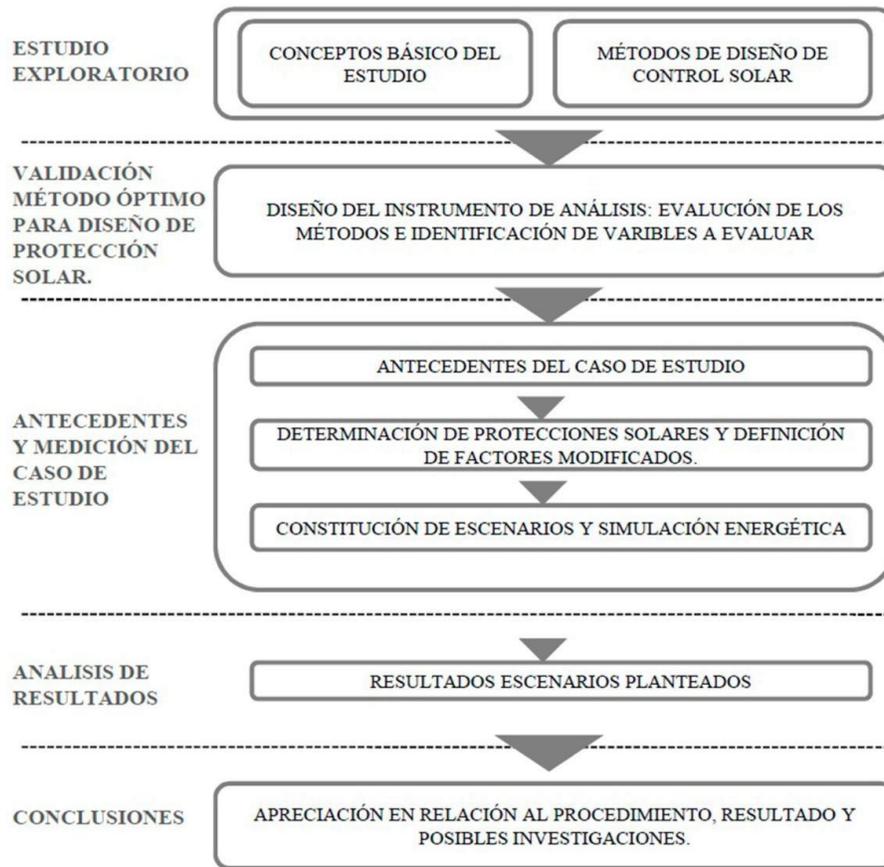


Figura 1: Esquema Metodológico de la Investigación. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 1: Methodological Research Scheme. Source: Own Elaboration.

En una distinta línea, existen diversas normativas y/o recomendaciones que se han implementados en algunos países para enfrentar el tema del control solar. Tal es el caso de:

- CONAE⁵ en 2001 (México), que publica la Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia Energética en Edificaciones, para envolvente de edificios no residenciales, el cual presenta herramientas para calcular la ganancia de radiación solar con elementos de protección, de acuerdo con el tipo de dispositivo, orientación y latitud.

- ANSI⁶/ASHRAE⁷ Standard 90.2-2004 (EE.UU.), que se refiere al tema del control solar indicando límites máximos o mínimos de transmitancia térmica U de elementos opacos y transparentes, factor solar de cerramientos transparentes según área de ventana de la

fachada y orientación solar, de acuerdo al tipo de edificación.

- Documento Básico HE “Ahorro de Energía”, CTE⁸ en 2006, donde el tema de las protecciones solares es determinado por un factor solar modificado límite de acuerdo con la orientación y tipo de clima por método cálculo manual o considera otras alternativas a través de comprobación mediante Software.

Otros estudios han considerado casos concretos, cuyos procesos de análisis se han determinado de acuerdo con escenarios que contemplan diversas estrategias con el objetivo de determinar la demanda energética de una edificación través de software de simulación térmica. Tal es el caso de estudio realizado en dos edificios de oficina en Santiago de Chile

⁵ Comisión Nacional para el Ahorro Energético.

⁶Instituto Nacional Standards Americano, EE.UU.

⁷Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire, EE.UU.

⁸Código Técnico de Edificación, España.

(Bustamante et al., 2010), bajo simulación dinámica “software TAS”, entre otros.

Además existen ciertas empresas dedicadas a la comercialización de protecciones solares, donde las bases conceptuales son similares a las descritas, sin embargo se realizan mediante software creado en forma particular, cuyo acceso es limitado.

2.2 Identificación de Variables de las Metodologías y Definición del Procedimiento.

Para definir el procedimiento, parte del objetivo de esta investigación, se determinó realizar un cuadro comparativo según cuatro metodologías (Tabla 1), de acuerdo con un itemizado de las variables existentes.

De la tabla 1 se infiere que la metodología:

- En relación con el bioclima y confort en aleros y parasoles contempla antecedentes particulares del clima y geometría de protección solar, sin embargo carece de antecedentes como ganancias internas, ocupación, materialidad de ventana, etc.

- En relación con la limitación de la demanda energética con método simplificado del CTE, éste permite determinar el factor solar modificado de acuerdo con la fórmula (1), cuya importancia es la variable marco. Además está la simulación computacional, donde se comparan dos escenarios en relación con la demanda energética.

- En lo que se refiere a estudios de escenarios en simulación dinámica, ésta depende de la calidad de los antecedentes, cuyo proceso de análisis es la comparación de resultados en torno a escenarios.

- En relación con empresas del rubro Hunter Douglas, ésta se evalúa mediante cálculo y software; el primero contempla sólo conceptos de geometría solar y el segundo considera un programa de simulación de uso exclusivo de Hunter Douglas.

En general se puede inferir que la metodología de la Limitación de la Demanda Energética, “método por cálculo manual”, y estudios con “simulación dinámica” son complementarios, considerando que el primero va enfocado particularmente en el hueco ventana, y la calidad de antecedentes, y el segundo determina el comportamiento del edificio, forma de comparar resultados.

Es necesario mencionar que el método de cálculo determina el factor solar modificado y se expresa de acuerdo con la fórmula (1).

$$F = F_s * [(1-F_m)*g_{\pm} + F_m*0,04*U_m*\alpha] \quad (1)$$

Donde,

F_s: factor de sombra del vano o lucernario obtenido del TDR⁹ en función del dispositivo de sombra o mediante simulación. En caso de que no se justifique adecuadamente el valor de *F_s* se debe considerar igual a la unidad;

F_m: fracción del vano ocupada por el marco, en el caso de ventanas, o la fracción de parte maciza en el caso de puertas.

g_±: factor solar de la parte semitransparente del vano o lucernario a incidencia normal. El factor solar puede ser obtenido por el método descrito en la norma UNE EN 410:1998, o de certificados oficiales.

U_m: transmitancia térmica del marco del vano o lucernario.

α: absortividad del marco, obtenida del TDR.

Para establecer la importancia del cálculo del factor solar modificado se ha determinado comprobar distintos mecanismos para ingresar las protecciones solares en TAS, simulando un recinto ubicado en Concepción. Estos casos se detallan a continuación y los resultados se resumen en la Tabla 2.

- Caso N°1: Recinto sin protecciones solares.

- Caso N°2: Recinto con protección solar modelado en 3D Modeller de TAS.

- Caso N°3: Recinto con protección solar modelado en Building Simulator de TAS.

- Caso N°4: Recinto con Factor Solar Modificado calculado por fórmula [1], considerando protección solar, vidrio y marco e ingresado este valor en Building Simulator de TAS.

- Caso N°5: Recinto con Factor Solar Modificado calculado por fórmula [1], considerando protección solar y vidrio e ingresado este valor en Building Simulator de TAS.

⁹ Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental para Licitaciones de Diseño y Obras de la Dirección de Arquitectura.

Tabla 1: Cuadro Comparativo de las Metodologías Analizadas. Fuente: Elaboración Propia.
Table 1: Comparative Table of Analyzed Methodologies. Source: Own Elaboration

Descripción del Análisis	Metodología n°1		Metodología n°2		Metodología n°3		Metodología n°4	
	Cálculo	Software	Cálculo	Software	Cálculo	Software	Cálculo	Software
Antecedentes								
Clima	x	x	x	x		x	x	x
Trayectoria Solar de la ciudad correspondiente	x	x	x	x		x	x	x
Planimetría del Edificio			x	x		x		x
Planimetría Vano Semitransparente	x	x	x	x		x	x	x
Propiedades Físicas de los Materiales de la Envoltente			x	x		x		x
Propiedades Físicas de los Vanos Semitransparentes			x	x		x		x
Cuadro de Carga Ocupacional y Aportes energéticos.			x	x		x		x
Análisis que determinan la Condición de Confort								
En relación a la temperatura exterior	x	x		x		x		x
En relación a la Limitación de la Demanda Energética de la Envoltente			x	x				
En relación a la Ganancias Internas del Edificio				x		x		x
Análisis Protecciones Solares								
Determinación de Factor de Sombra	x	x	x	x		x	x	x
Determinación Factor Solar			x	x		x		x
Determinación de Transmitancia del Vano Semitransparente			x	x		x		x
Determinación del Factor Solar Modificado			x					
Análisis de Escenarios								
En relación a la formulación de Escenarios				x		x		x
Resultados								
En relación a Ángulos Óptimos de Protecciones Solares.	x	x		x		x	x	x
En relación a la Demanda Energética				x		x		x
Total de Variables utilizadas	6	6	12	16	0	15	5	15

Tabla 2: Demanda de Calefacción, Refrigeración y Total por Caso. Fuente: Elaboración Propia
Table 2: Demand for Heating, Refrigeration and Total per case. Source: Own Elaboration.

Casos	Demanda calefacción (d. calef.)	% D. calef. en relación a caso 01	Demanda refrigeración (d. refrig.)	% D. refrig. en relación a caso 01	Demanda total (d. total)	% D. total en relación a caso 01
	[kWh/m ² *a]	[%]	[kWh/m ² *a]	[%]	[kWh/m ² *a]	[%]
01	24,5	1,00	1,8	1,00	26,3	1,00
02	28,5	1,16	0,9	0,52	29,4	1,12
03	29,9	1,22	0,5	0,26	30,4	1,16
04	28,9	1,18	0,6	0,33	29,5	1,12
05	27,6	1,13	0,8	0,45	28,4	1,08
Promedio	27,9	1,17	0,9	0,39	28,8	1,12

De la Tabla 2 se infiere que:

- Todas las demandas de calefacción aumentan y las demandas de refrigeración disminuyen en relación con el caso 01, por cuanto TAS asume los efectos de la protección solar.

- El caso 03 posee una demanda total más alta en relación con el resto de los casos (1,16 %) y por el contrario el caso 05 posee una demanda total más baja (1,18 %).

El caso 02 y 04 poseen una demanda total similar (1,12 %), sin embargo la última contempla un factor solar modificado que contempla tres elementos: vidrio, marcos y protección solar, que permite obtener más variables y por cuanto más real como resultado. En el otro caso (02), la modelación en 3D del TAS, es difícil precisar las variables que influyen puesto que el programa no está diseñado para la evaluación de protecciones solares.

Esta última situación determina que la forma más real para llegar a un resultado confiable es determinar el Factor Solar Modificado según fórmula (1) "Caso 04", ocupando todos los antecedentes técnicos que ésta relación determina (vidrio, marcos y protecciones solares), para luego ingresar este valor como antecedente y simularlo mediante escenarios en TAS.

2.3 Antecedentes y Medición del Caso de Estudio



Figura 2: Caso de Estudio "Fiscalía Regional BioBio". Fuente: Elaboración Propia.

Figure 2: Case Study: "Fiscalía Regional BioBio". Source: Own Elaboration.

Los antecedentes del edificio en condición existente son: la orientación, determinación de la transmitancia térmica de la envolvente y factor solar modificado, detallados a continuación:

- La orientación de las fachadas del edificio se determinó de acuerdo con los antecedentes de los requerimientos para Edificios Públicos en Chile TDR (Fig. 3).

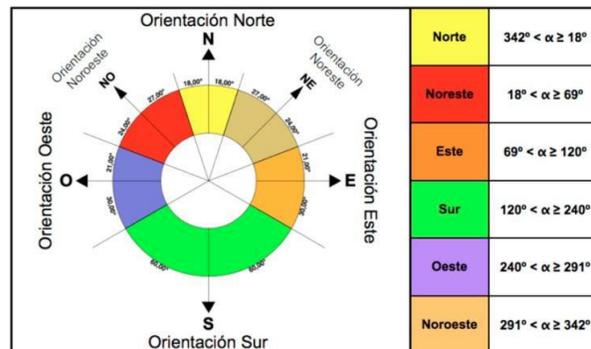


Figura 3: Determinación de Orientación de Fachadas. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 3: Orientation of façades. Source: Own Elaboration.

Tabla 3: Transmitancia Térmica y Factor Solar de los Elementos Transparentes. Fuente Elaboración Propia.

Table 3: Thermal transmittance and solar factor of the transparent elements. Source: Own Elaboration.

Grupo	Tipo	Espe- sor	Espe- sor Cámara	Gas	Factor Solar	U [W/m²K]
Simple	Claro	4 mm			0.88	5.7
Simple	Claro	6 mm			0.85	5.7
Simple	Absorbente	4 mm			0.70	5.7
Simple	Absorbente	6 mm			0.60	5.7
Simple	Reflectante Claro	6 mm			0.52	5.7
Simple	Reflectante Gris	6 mm			0.42	5.7
Doble	Claro-laro	4 mm	6 mm	Aire	0.76	3.1
Doble	Claro-Claro	6 mm	6 mm	Aire	0.72	3.1
Doble	Absorbente - Claro	4 mm	6 mm	Aire	0.58	3.1
Doble	Absorbente - Claro	6 mm	6 mm	Aire	0.49	3.1
Doble	Reflectante Claro - Claro	6 mm	6 mm	Aire	0.45	2.7
Doble	Reflectante Claro - Claro	6 mm	6 mm	Aire	0.31	2.7
Doble	Claro-bajo - emisivo (Cara 3)	4 mm	12 mm	Aire	0.74	2.6
Doble	Claro-bajo - emisivo (Cara 3)	6 mm	12 mm	Aire	0.71	2.5

- La transmitancia térmica de los elementos opacos del edificio consideró once valores, de los cuales el radier fue calculado de acuerdo al CTE y el resto según la NCh853-2007. Los valores de transmitancia térmica y factor solar del vidrio, de los cuatro elementos transparentes existentes, fueron extraídos del “Manual de Referencias Técnicas para la Aplicación del Software CCTE-CL V2 en Chile”. Todos estos valores fueron ingresado manualmente al software TAS.

- El factor solar modificado se determinó de acuerdo con la fórmula (1), donde el valor de la absorptividad (Tabla 4) y el factor sombra (Tabla 5) fueron extraídos de los requerimientos para Edificios Públicos en Chile TDRé.

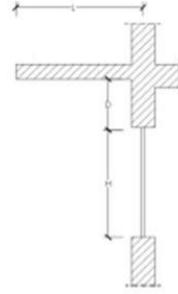
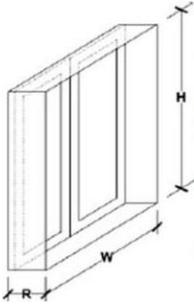
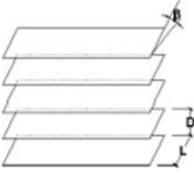
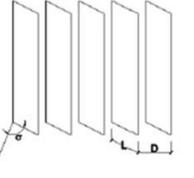
Tabla 4: Absortividad del marco para radiación solar α .

Table 4: Absorption of solar radiation framework for α . Source: TDRé.

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

Tabla 5: Factores de Sombra para voladizos, retranqueo y lamas. Fuente: CITECUBB- DECONUC, 2012.

Table 5: Shadow Factors for overhangs, setback and shutters. Source: : CITECUBB- DECONUC, 2012.

		$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$					
	Orientación de la Fachada	N	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28	0,16			
			$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87	0,64	0,39	0,22			
			$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,6	0,39			
		NE/NO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16			
			$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27			
			$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65			
		E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22			
			$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43			
			$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75			
	Orientación de la Fachada	N	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62	0,39			
			$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56	0,35			
			$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39	0,27			
			$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17			
			NE/NO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51		
				$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47		
			$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36			
			$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23			
		E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65			
			$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61			
			$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51			
			$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39			
	Orientación de la Fachada	Angulo de Inclinación (β)								
			0°	30°	60°					
			NO	0,49	0,42	0,26				
			NE/NO	0,54	0,44	0,26				
	E/O	0,57	0,45	0,27						
	Orientación de la Fachada	Angulo de Inclinación (σ)								
			-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°	
			N	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
			NE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,4	0,3
			E	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
			O	0,44	0,52	0,58	0,63	0,5	0,41	0,29
			NO	0,38	0,44	0,5	0,56	0,53	0,48	0,38

Las consideraciones generales, datos determinantes para la medición del caso de estudio y la modelación en TAS se detallan a continuación:

- El confort térmico fue extraído del archivo climático de Concepción de Weather Manager de 2009, obteniéndose un rango de 18 a 24 °C.

- Las condiciones operacionales del edificio se resumen en la jornada laboral de 8:00 AM a 18:00 PM (días hábiles). Por otra parte se determinó la densidad, lo cual es clave para el cálculo de la emisión de calor por persona en cada zona térmica (Tabla 6).

- Las ganancias internas de emisión de calor por personas en oficina, iluminación y equipo (Tabla 7 y 8), es extraída del estudio de Bustamante (et al., 2010). A partir de estos datos se puede calcular el calor sensible y latente, de acuerdo con la densidad y la emisión de calor, según los porcentajes definidos.

Tabla 6: Ocupación por Superficie: Fuente: Elaboración Propias.

Table 6: Occupation values. Source: Own Elaboration.

Zona Térmica	Superficie (m ²)	Cantidad (hab.)	Densidad (hab./m ²)
Oficina Estándar	10,7	1	0,09
Oficina Técnica	17,9	2	0,11
Oficina Jefatura	18,7	1	0,05
Oficina Parte	5,85	1	0,17
Hall Acceso	43,75	3	0,07
Auditorio	68,67	62	0,90
Circulación	92	3	0,03
Sala de Reuniones	18,6	10	0,54

- La ventilación es mecánica durante el periodo de funcionamientos de los recintos e infiltración permanente en cada recinto. Estos datos referenciales fueron extraídos del estudio de Bustamante et al. 2010, el cual plantea que una persona trabajando en una oficina requiere 10 l/s (36 m³/h) de aire exterior y una infiltración 0,3 ach las 24 hrs. en todos los recintos (Tabla 9).

Como parte de esta etapa se consideró la definición de protecciones solares por utilizar, lo que determinaría los escenarios por evaluar. Los dispositivos y factor de sombra utilizados corresponden a los expuestos en la Tabla 5.

En la Tabla 10 se detallan los escenarios definidos para el estudio. Es necesario mencionar que existe una subclasificación, los cuales se determina con letra A, B y C (Fig. 4.). Los escenarios del tipo A, corresponden la ubicación de las protecciones solares en todas las superficies transparentes de la envolvente. En el caso que éstos sean aplicados sólo a los muros cortinas se denomina Tipo B. Por último si está aplicado sólo a vanos -ventanas dejando fuera los muros cortinas se denominará Tipo C.

Tabla 7: Emisión de Calor, Ganancias de Iluminación y Equipo: Fuente: Elaboración Propia.

Table 7: Heat Gains for Lighting and Equipment. Source: Own Elaboration.

Ganancias Internas	Cantidad	Unidad
Emisión calor persona en oficina (e.C.P.O)	130	(W)
Calor sensible 65% de E.C.P.O	84	(W)
Calor latente 35% de E.C.P.O	46	(W)
Ganancias Iluminación	12	(W/m ²)
Ganancias Equipo	15	(W/m ²)

Tabla 8: Calor Sensible y Latente por Zona Térmica. Fuente: Elaboración Propia.

Table 8: Sensible and Latent Heat for each Thermal Zone. Source: Own Elaboration.

Zona Térmica	Superficie (m ²)	Cantidad (hab.)	Densidad (hab./m ²)	E.C.P.O (W/m ²)	Calor Sensible (W/m ²)	Calor Latente (W/m ²)
Oficina Estándar	10,7	1	0,09	12,5	7,85	4,30
Oficina Técnica	17,9	2	0,11	14,53	9,39	5,14
Oficina Jefatura	18,7	1	0,05	6,95	4,49	2,46
Oficina Parte	5,85	1	0,17	22,22	14,36	7,86
Hall Acceso	43,75	3	0,07	8,91	5,76	3,15
Auditorio	68,67	62	0,90	117,37	75,84	41,53
Circulación	92	3	0,03	4,24	2,74	1,50
Sala de Reuniones	18,6	10	0,54	69,89	45,16	24,73

Tabla 9: Determinación de Ventilación e Infiltración por Zona Térmica. Fuente: Elaboración Propia.
Table 9: Determination of Ventilation and Infiltration rates for each Thermal Zone. Source: Own Elaboration.

Zona Térmica	Densidad (hab./m ²)	Altura (m)	Volumen (m ³)	Vent. Req. (ach)	Funcionamiento para Vent. Req.	Infiltración (ach)	Funcionamiento para Infiltración
Oficina Estándar	10,7	2,5	26,75	1,35	8am-6pm (días de semana)	0,30	24 hrs (7 días)
Oficina Técnica	8,95	2,5	22,38	3,22	8am-6pm (días de semana)	0,30	24 hrs (7 días)
Oficina Jefatura	18,7	2,5	46,75	0,77	8am-6pm (días de semana)	0,30	24 hrs (7 días)
Oficina Parte	5,85	2,5	14,63	2,46	8am-6pm (días de semana)	0,30	24 hrs (7 días)
Hall Acceso	14,58	2,5	36,46	2,96	8am-6pm (días de semana)	0,30	24 hrs (7 días)
Auditorio	1,11	2,5	2,77	806,08	9am-10am (un día al mes)	0,30	24 hrs (7 días)
Circulación	30,67	2,5	76,67	1,41	8am-6pm (días de semana)	0,30	24 hrs (7 días)
Sala de Reuniones	1,86	2,5	4,65	77,42	9am-10am (un día al mes)	0,30	24 hrs (7 días)
Entretecho	0,00	Variable	76,45	0,00	24 horas (todos los días)	0,30	24 hrs (7 días)
Espacio sin uso perm.	0,00	2,5	Variable	0,00	24 horas (todos los días)	0,30	24 hrs (7 días)

Tabla 10: Escenarios por Evaluar en relación con las Protecciones Solares y Condición del Edificio. Escenario 01 al 16. Fuente: Elaboración Propia.

Table 10: Scenarios for Evaluating Protections regarding Solar and Building Condition. Scenario 1 to 16. Source: Own Elaboration

Escenario	Descripción
01	Condición existente del edificio, sin ventilación e infiltración.
02	Condición existente, con ventilación mecánica e infiltración.
03	Escenario 02, con lamas horizontales de ángulo de inclinación 0°.
04	Escenario 02, con lamas horizontales de ángulo de inclinación 30°.
05	Escenario 02, con lamas horizontales de ángulo de inclinación 60°.
06	Escenario 02, con lamas verticales de ángulo de inclinación -60°.
07	Escenario 02, con lamas verticales de ángulo de inclinación -45°.
08	Escenario 02, con lamas verticales de ángulo de inclinación -30°.
09	Escenario 02, con lamas verticales de ángulo de inclinación 0°.
10	Escenario 02, con lamas verticales de ángulo de inclinación 30°.
11	Escenario 02, con lamas verticales de ángulo de inclinación 45°.
12	Escenario 02, con lamas verticales de ángulo de inclinación 60°.
13	Escenario 02, con alero de 1 metro en todos los vanos ventanas a excepción de los muros cortinas.
14	Escenario 02, con retranqueo.
15	Escenario 02, considerando los factores solares modificados mínimos obtenidos del escenario 03 a 14.
16	Escenario 02, con valores obtenidos de la Zona Sur Litoral de TDRé (Transmitancia Térmica y Factores Solares Modificados Límites).

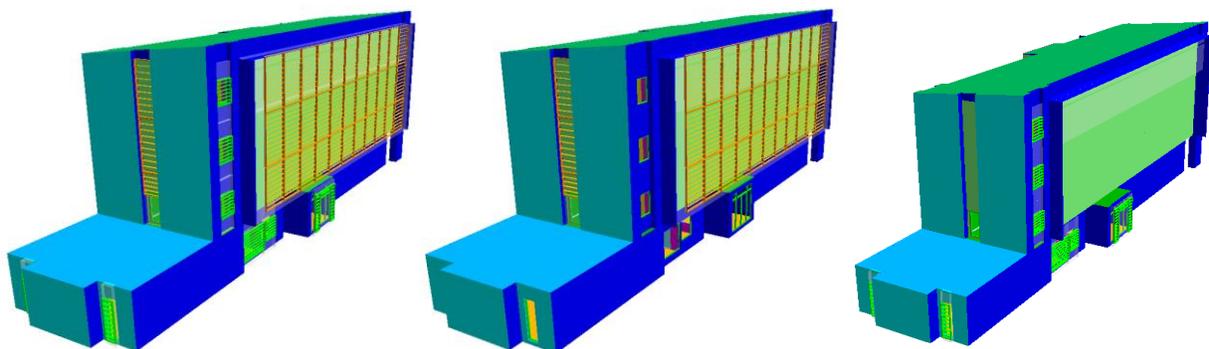


Figura 4: Imágenes Referenciales de los Escenarios Tipo A, B y C. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 4: Referential Images for the Scenarios A, B and C. Source: Own Elaboration.

3. Análisis de Resultados

Se simuló un total de 37 escenarios, donde en primera instancia se analizó la Temperatura del Bulbo Seco de dos recintos, en solsticio de invierno y verano.

Como resultado de este proceso se identificó que el recinto con más alta temperatura del bulbo seco corresponde a la "Oficina Técnico SAF", del Tercer Nivel ubicada al Noroeste. Como contraparte se consideró utilizar una oficina en el mismo nivel, pero con una orientación Sur "Oficina Técnicos Informáticos UGI".

Las temperaturas máximas del bulbo seco de cada recinto, en los dos días simulados, fueron graficados en la Figura 5 y 6.

Considerando el rango de confort para la ciudad de Concepción de 18 a 24°C, se pudo inferir que los dos recintos, en el solsticio de verano, poseen problemas de sobrecalentamiento, sin embargo la oficina SAF posee una gran

disminución por la implicancia de las protecciones solares. El otro recinto posee una leve disminución, puesto que está ubicado al sur, lugar donde no se ha proyectado este tipo de dispositivos. En cambio en el día de invierno las dos oficinas poseen una temperatura máxima similar.

Para este análisis se puede establecer que la brecha de temperaturas máximas entre los dos días analizados debe ser mínima para determinar un escenario óptimo.

Frente a esta situación es posible determinar que el escenario 15A es el más óptimo para los dos recintos, sin embargo es una situación que implica una combinación de protecciones solares. Bajo esta situación se entiende que las protecciones solares más eficientes desde el punto de vista de la mínima diferencia de temperatura son los escenarios 14A y 5A, lo que corresponde al retranqueo (considera componente vertical y horizontal) y lamas horizontales 60°.

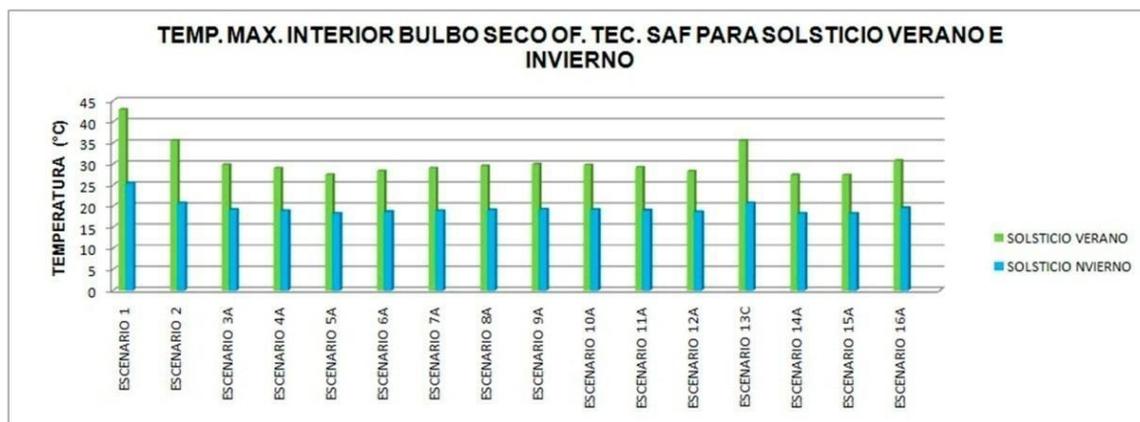


Figura 5: Temperatura Máxima de Oficina Técnico SAF en Solsticio Verano e Invierno. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 5: Maximum Temperature Technical Office SAF in Summer and Winter Solstice. Source: Own Elaboration.

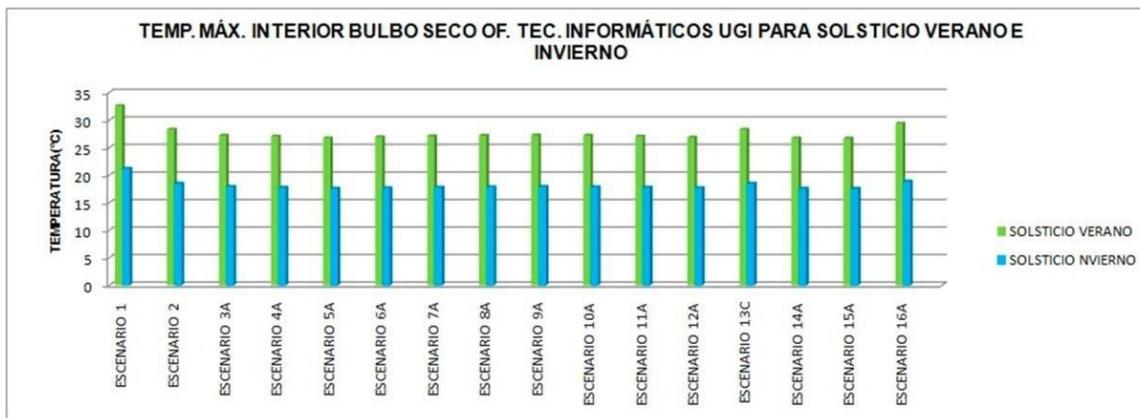


Figura 6: Temperatura Máxima de Oficina Técnicos Informáticos UGI en Solsticio Verano e Invierno. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 6: Maximum Temperature Computer Technical Office UGI in Summer and Winter Solstice. Source: Own

Estos tres escenarios coinciden en los valores mínimos de factor solar 17 modificado, lo cual sería determinante en la definición de un escenario óptimo para el estudio.

En segunda instancia se realizó un análisis de los escenarios planteados con protecciones solares en relación con la implicancia de la demanda energética, donde a diferencia del análisis anterior esta simulación contempla la incorporación del termostato, lo cual se traduce en la definición de un rango de confort para la ciudad de Concepción, donde el software dará como resultado las demandas energéticas cuando este rango de temperaturas no se cumpla.

Los resultados de la demanda energética de refrigeración, de calefacción y total se grafican en la figura 7, entendiendo que el escenario 02

corresponde al “modelo referencial”.

En los escenarios de tipo “A”, la demanda de refrigeración disminuye en un 33 a 74 % y la de calefacción aumenta en un 19 a 36 %, por el contrario, en el caso de sólo un escenario 18 esta última disminuye en un 40% (escenario 16A, considerando que se ha modificado la transmitancia térmica de la envolvente opaca). Bajo esta situación la demanda energética total en el resto de los escenarios en relación al “Escenario 02”, disminuye en un 24 a 36%.

En los escenarios de tipo “B”, la demanda de refrigeración disminuye en un 52 a 72 % y la demanda de calefacción aumenta de un 16 a 31% por cuanto la demanda total en relación al “Escenario 02”, disminuye en todos los escenarios entre un 24 a 31%.



Figura 7: Gráfico del Resultado de la Demanda Energética de Refrigeración, Calefacción y Total en kWh/m²*a. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 7: Results for Cooling, Heating and Total Energy Demand in kWh/m² *a. Source: Own Elaboration.

En los escenarios de tipo "C", la demanda de refrigeración disminuye en un 1 a 3% y la demanda de calefacción aumenta en un 1 a 4% por cuanto la demanda total en relación al "Escenario 02" es 0.

Si bien el problema del sobrecalentamiento debiera tener un cierto énfasis de las demanda de refrigeración, se puede afirmar que la de calefacción tiene la misma relevancia puesto que son inversamente proporcionales, por tanto la menor demanda total energética en relación a la condiciones existente contemplaría el mejor escenario. Frente a esta situación se puede establecer que:

- Los escenarios tipos "A" y "B", poseen diferencias mínimas en relación a la demanda energética total, en cambio los de tipo "C" no tiene ninguna implicancia. Frente a esta situación se puede concluir que es más eficiente ubicar protecciones solares en grandes superficies vidriadas "Tipo B" considerando que se logran los mismos resultados que la utilización de estos dispositivos solares en todas las superficies transparentes de la envolvente.

- El tipo de protección solar que presenta menor demanda energética total de acuerdo a la condición existente (escenarios de 03 a 14), corresponde a Lamas Horizontales de ángulo de inclinación de 60° "Escenario 05B".

En general, el escenario 15B contempla los mínimos valores de factor solar modificado de 0,13 a 0,16, lo cual permite concluir que para las protecciones solares definidas para esta investigación, aplicadas al caso de estudio en Concepción, la demanda energética total no disminuiría más de un 31 %. El caso del escenario 16, donde la disminución de la demanda total de 36 %, es atribuible a la reducción de la demanda de calefacción por valores de transmitancia térmica de la envolvente definidas para la zona sur litoral en TDRé.

4. Conclusiones

La investigación posee tres tipos de conclusiones: en relación con el procedimiento de evaluación de la investigación, en relación con los resultados y en relación a las posibles investigaciones futuras, las cuales se pasan a detallar a continuación:

4.1. Según el procedimiento de evaluación de la Investigación

Existe una gran variedad de metodologías

para evaluar protecciones solares, no obstante esta investigación se centró en cuatro, las cuales cumplían con los objetivos que perfilaron la definición de un procedimiento. La importancia de este análisis se centra en que:

- La identificación de las variables de las metodologías determinó que tanto el cálculo manual como la modelación a través de software son complementarios.

- La identificación de las variables de cálculo de factor solar modificado en base a la formula [1], determinó la importancia que posee el elemento marco, cuya implicancia (tamaño, transmitancia térmica y color del marco) determina la disminución de este valor, cuestión que no es asumida por el TAS.

- La identificación del análisis en relación con el software determinó la importancia de contar con la evaluación de escenarios, definir comportamiento de temperaturas máximas en dos recintos y dos días y la evaluación de la demanda energética en el edificio.

4.2. Según los resultados

Los resultados en relación con las temperaturas máximas del bulbo seco en dos recintos, en solsticio de verano e invierno, contemplan dos condiciones:

- En condición existe "Escenario 01 y 02", se verifican los problemas existentes de sobrecalentamiento interior y la diferencia de temperaturas de casi 10 °C, en recintos analizados.

- En condición proyectada (escenarios), esta diferencia de temperatura en los dos recintos disminuye de 1° a 2 °C.

El análisis de los dos recintos permite establecer que los efectos son relevantes, sin embargo, para evaluar el comportamiento del edificio se debe estimar la demanda energética frente a los escenarios planteados, obteniéndose los siguientes resultados:

- Los distintos escenarios planteados con soluciones de protecciones solares tienen el mismo patrón de comportamiento, es decir, se reduce la demanda de refrigeración y aumenta la de calefacción.

- Las diferencias obtenidas en relación con la demanda energética entre los escenarios tipo A, B y C, establecen que existe una relación entre la ubicación de estos elementos y los ahorros de

energía, que debe ser considerada para optimizar los recursos económicos del proyecto.

El mejor escenario planteado es aquel que no determina la disminución de la demanda de refrigeración, sino que establece la disminución de la demanda total, los cuales son los escenarios 5B y 15B.

- Los factores solares modificados del escenario 15B, pertenecen a los mínimos factores solares modificados, por cuanto se puede concluir que para el caso de estudio la demanda energética total no disminuirá más de un 31 %.

- El escenario 16A determina una disminución mayor de la demanda energética, sin embargo contempla cambio en la transmitancia térmica en la envolvente, variable que no es parte de este estudio.

En síntesis, se puede apreciar que la evaluación en relación con la condición existente, pudiese no ser el resultado real de la demanda energética, no obstante todo el procedimiento de evaluación de las distintas protecciones solares, se realizó en torno a un sólo escenario referencial, demostrando que los impactos son reales, puesto que se basan en porcentajes de aumento o disminución, según sea el caso. En este mismo sentido se puede concluir que cualquier tipo de solución planteada de los escenarios (Tipo A y B), permite disminuir la demanda total en más de un 12 %, por cuanto este hecho permitiría lograr el desafío del actual Gobierno propuesto para el año 2020.

4.3. En relación con posibles investigaciones futuras.

La presente investigación se formuló, desarrolló y obtuvo resultados según los objetivos propuestos para este estudio, sin embargo es posible encontrar una serie de temas que podría complementar este trabajo como posibles investigaciones futuras. Algunas de ellas se mencionan a continuación:

- Considerar otros factores de sombras de nuevas protecciones solares, como por ejemplo los factores de Olgyay, Morillón, etc.
- Constituir nuevos escenarios con otras estrategias pasivas que disminuyan aún más la demanda energética total del edificio (Transmitancia Térmica, Ventilación Nocturna, etc).

- Evaluar más casos de estudio en Concepción que permitan estandarizar resultados.

Por último, es necesario asumir que existe muy poca experiencia en Chile a nivel profesional de la impcancia de las protecciones solares en el comportamiento térmico del edificio, por cuanto se recomienda utilizar este estudio en relación con los porcentajes de disminución de la demanda energética, teniendo siempre en cuenta que se estableció sobre un solo caso de estudio, o bien solicitar asesoría técnica a empresas especialistas que comercializan estos elementos.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado en el marco de la tesis de Magister de hábitat Sustentable y Eficiencia Energética de la Universidad del Bío – Bío, bajo la supervisión del profesor Ariel Bobadilla.

Referencia Bibliográfica

Bobadilla A., Trebilcock M., Muñoz C., Figueroa R., Espinoza R., Arriagada R., Besser D., Guzmán F., Piderit B., Aguilera C. y Sánchez R., (2012). Propuesta de Método de Calificación Energética y Ambiental de Edificios Públicos en Chile. PLEA 2012-28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú 7-9 Noviembre 2012.

Bustamante W., Encina F., Rozas Y. y Victoreo F., (2007). Informe Etapa 05. Manuales de Referencias Técnicas: Fundamentos Teóricos. [En Línea]. Desarrollo de la Herramienta de Certificación del Comportamiento Térmico de Edificios de Chile (CCTE_CLV2). Licitación Pública N° 587-605-LP06.

Bustamante, W., Escobar R. y Pino A., (2010). Análisis de Comportamiento Térmico de Edificios de Oficina en Comunas de la Región Metropolitana de Chile. [En Línea]. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII-SPES): 1-5 de noviembre de 2010. Cuzco, Perú. 10 p. <http://perusolar.org/17-spes-ponencias/05-Ambiente-Construido/PinoArayaAlan/Pino_Araya_Alan.pdf> [consulta: 15 noviembre 2012].

CITECUBB, DECONUC, (2012). TDRé Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obras de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipologías de Edificaciones + 10 Guías Técnicas de Apoyo.

Código Técnico de la Edificación, (2006). DB HE: Ahorro de energía. Limitación de la Demanda Energética. [en línea] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Boletín oficial del Estado, 28 de marzo de 2006, núm. 74. <www.codigotecnico.org> [consulta: 15 noviembre 2012]

Morillón D., Mejías D., (2004). Modelos para Diseño y Evaluación del Control Solar en Edificios. [En Línea] Serie Investigación y Desarrollo SID/645. Instituto de Ingeniería UNAM. México. <<http://aplicaciones.iingen.unam.mx/ConsultasSPII/Buscarpublicacion.aspx>> [consulta: 15 noviembre 2012]

NCh853-2007. Acondicionamiento Térmico- Envoltura Térmica de Edificios- Cálculos de Resistencias y Transmisiones Térmicas. Ministerialito de Vivienda y Urbanismo, Chile, mayo 2007.

Olgay V., (1998). Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas.

Barcelona, Gustavo Gili, 1998. 203p.

Instituto de la Construcción, (2009). Proyecto presentado a Innova Chile permitirá evaluar desempeños energéticos de 10 edificios de uso público y generar nuevas propuestas de alta calidad y bajos costos de operación, en Informativo IC N. 61 [En Línea]. Santiago, disponible en<<http://iconstruccion.cl/newsletter/htm161/7.html>> [consulta: 5 de diciembre 2012].

Recibido: 02|04|2013
Aceptado: 08|05|2013

Aprovechamiento de la pomeca puzolánica en envolventes: desarrollo experimental de un panel termoaislante para viviendas en zonas áridas en Argentina.

Utilization of puzzolanic pomeca in envelopes: experimental development of an insulating panel for housing in the arid regions of Argentina



Arturo Buigues Nollens abuigues@unsj.edu.ar

Instituto de Mecánica Aplicada - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de San Juan - Argentina



RESUMEN

Palabras Claves
Estudio experimental
Envolvente termoaislante
Pomeca Puzolánica
Viviendas Sociales
Zonas Áridas

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de la pomeca puzolánica y el desarrollo experimental de un panel termoaislante para zonas áridas, destinado al acondicionamiento higrotérmico de viviendas de interés social de San Juan, teniendo en cuenta estándares mínimos de calidad. La metodología considera el desarrollo de estudios de caracterización, diseño térmico y análisis tecnoconstructivo utilizando cerramientos opacos verticales que incluyen como componente a este material natural de origen volcánico. Se han obtenido temperaturas interiores de 23 °C, mientras que la cara exterior de la placa vista con aislante sin pintar alcanza los 54 °C, con 830W/m² de radiación solar. Se demuestra que es posible utilizar a la pomeca, incluida como relleno en adecuados espesores, y como placas aislantes, para poder disminuir pérdidas térmicas con bajos costos. Integrando un sistema tecnológico alternativo, que utiliza técnicas de producción y construcción sencillas, contribuye a mitigar gastos energéticos, satisfacer diferentes necesidades de grupos sociales con bajos recursos y proteger el ambiente.

ABSTRACT

Key Words
Experimental Analysis
Thermoisolating Enclosing
Puzzolanic Pomeca
Social Housing
Arid Areas

The aim of this paper is to analyse the puzzolanic pomeca and to experimentally develop and insulating panel for improving the hygro-thermal conditioning of social housing in the arid regions of San Juan, taking into consideration the minimum quality standards. The methodology considers the development of studies of characterization, thermal design and techno-constructive analysis, using vertical opaque natural materials for the envelope, which includes this one of volcanic origin. Internal temperatures below 23 °C have been obtained, while the outer face of the panel with insulation and no paint reaches 54 °C, with 830W/m² of solar radiation. This demonstrates that it is possible to use Pomeca as filling in adequate thicknesses and as insulation panels, in order to reduce thermal losses at low costs. It integrates an alternative technological system using simple production and construction techniques and contributes to reduce energy expenses, satisfying different needs of the low income social groups and protecting the environment.

1. Introducción

La baja asignación de recursos destinados a la construcción de viviendas sociales para erradicar ranchos y viviendas precarias en diferentes localidades de la provincia de San Juan ha llevado a obtener una baja calidad

higrotérmica de sus envolventes, lo cual ha generado altos consumos de energía. Se añaden refugios y viviendas construidas o por construir, ubicadas en zonas que no cuentan con red de gas natural, o porque los altos costos actuales de los combustibles convencionales alternativos más

utilizados, como gas envasado y kerosén, impiden a las familias a tener acceso a ellos.

En algunos parajes áridos existen inviernos muy rigurosos donde los usuarios deben soportar críticas situaciones a raíz de sus necesidades térmicas (Sáa, et. al, 2005). Estas situaciones llevan a utilizar y hasta depredar el recurso leña del entorno. En muchos casos estos combustibles y recursos convencionales alternativos producen, además de intoxicaciones por monóxido de carbono, incendios, quemaduras, faltas laborales y escolares que se traducen en mayores costos para la salud de los usuarios.

La división construcciones del Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, ha determinado coeficientes volumétricos de pérdidas de calor, para 73956 viviendas en Argentina. Estas construcciones de casi 60 m² cada una, consideran el sistema constructivo tradicional utilizado en San Juan de techos de losa de hormigón armado y muros de ladrillo cerámico o bloques de hormigón. Como resultado, siempre que se aisle el techo y los muros con 3" y 2" respectivamente, se estimó un ahorro para la provincia de 39,97 %, y para Argentina un ahorro de 42,99 %. El estudio fue realizado aplicando un aislante térmico convencional de conductividad media, tal como la lana de vidrio (Volantino, et. al, 2007).

Si además se le agrega la posibilidad de un ahorro mayor de energía durante el verano, que surge de la necesidad de acondicionamiento en zonas templado-cálidas, lleva a valorar el importante rol de la aislación térmica, considerando el uso racional de energía (URE) en viviendas, traduciendo su aplicación en una reducción de gastos en electricidad y gas.

Cabe mencionar que si bien una mejora en la aislación de la vivienda social probablemente no redundará en una disminución concreta de los gastos de facturas eléctricas y de gas, dado que la población más pobre seguirá destinando pocos recursos a dichos rubros, sin embargo mejorará la calidad de vida de dichos habitantes.

Se destaca que en la actualidad, en general, existe ausencia de aislación en las envolventes verticales de las viviendas localizadas en la zona árida de la provincia de San Juan – Argentina (Buigues, 2010), por lo tanto resulta muy necesario desarrollar técnicas constructivas aplicadas en muros tradicionales, por presentar características constructivas de mayor complejidad que las utilizadas en techos.

El uso eficiente de la energía (UEE) constituye una de las opciones tecnológicas de expansión del sistema energético más importantes en el contexto del desarrollo sustentable (CEPAL, 1998). En este sentido, el aporte de esta investigación es buscar una solución concreta a las viviendas de zonas áridas en lo que respecta a la aislación térmica, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Se aclara que en este trabajo no se abordará el análisis económico ni el ahorro que se produce, dado que ya fue estudiada en forma extensa en otras investigaciones, (Volantino et. al, 2007). Si se buscará demostrar la contribución al desarrollo sustentable de una innovación tecnológica (Villavicencio A., 2004), que tiene como objetivos específicos el aprovechamiento a nivel experimental de la pomeca puzolánica, material aislante regional de origen natural, y su aplicación en diferentes envolventes verticales de viviendas de interés social como panel termoaislante.

2. Materiales

La piedra pómez (PP) es una lava vítrea celular. Esta lava, en su formación como "ceniza o tufo volcánico", cuando es proyectada al aire se desgasifica, quedando espacios vacíos separados por delgadas paredes de vidrio volcánico, compuesto por trióxido de sílice y trióxido de aluminio, entre otros. Es una roca efusiva joven, de terciaria a reciente, que contiene feldespato potásico, cuarzo y plagioclasa; pasta de grano fino a vítrea en las que cristales de biotita forman fenocristales. En su estado natural, se presenta suelta y sin consolidar y en algunos casos cementada formando depósitos superficiales o estratos cubiertos posteriormente como resultado de fenómenos geológicos. Tiene baja densidad, es muy porosa, de color blanco, gris y rosa claro.

Tanto la piedra pómez como todos los derivados volcánicos poseen características documentadas desde mediados del siglo XX sólo en Argentina. Tal es así que la norma IRAM 11601 incluye estos productos como aislantes desde fines de los años '70.

La pomeca puzolánica (IMA -1) también es un material termoaislante y en la actualidad se comercializa a granel en San Juan, (Fig.1). Tiene baja densidad, de 500 a 750 kg/m³, flota en el agua y es muy porosa, de color blanco o gris.

La IMA -1 que contiene rezagos de la piedra pómez, es extraída en la ciudad de Mendoza a

160 km de la ciudad de San Juan – Argentina. En la actualidad algunas empresas dedicadas al rubro de la construcción han comenzado a aplicarla a granel, como aislación termoacústica incorporada a la cubierta de techos.



Figura 1: Características generales de la pomeca puzolánica. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 1: General characteristics of the puzzolanic pomeca. Source: Own Elaboration

Pero aún se desconocen investigaciones específicas que caractericen en forma adecuada a sus componentes. Y además, también se desconoce que se hayan realizado estudios, como el que se desarrolla en este trabajo, en el que se demuestren las posibilidades de aplicación de la IMA -1 utilizando técnicas de aislamiento térmico de fachadas en viviendas de interés social en zonas áridas.

En este sentido, y para determinar los minerales presentes, fue analizada a través de un estudio de difracción de rayos X una muestra con material molido de IMA -1. Estas muestras fueron comparadas como una de las fases presentes en la muestra molido de un trozo de PP con 5,5 cm x 5,0 cm x 4,0 cm.

En la Figura 2 se observa una fotografía de ambas muestras molidas la PP triturada de color beige claro y la IMA – 1 de color marrón medio. Esta última contiene vidrio, feldespato, mica y calcita.

En la Figura 3 se muestra el difractograma obtenido sobre una fracción finamente molido de piedra pómez, donde la única especie presente con estructura cristalina y abundancia que puede ser detectada por el método es la biotita.

Observaciones realizadas en microscopio óptico permitieron ver las principales diferencias que existen entre ambas muestras. La muestra de PP molida presenta una imagen donde se

observa fundamentalmente la presencia de vidrio (isótropo) (Fig. 4 izquierda).



Figura 2: Muestras trituradas de la piedra pómez (PP) y la pomeca puzolánica (IMA – 1). Fuente: Elaboración Propia.

Figure 2: Crushed samples of stone pumice (PP) and puzzolanic pomeca (IMA – 1). Source: Own Elaboration

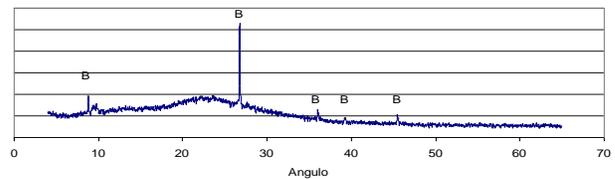


Figura 3: Difractograma de la muestra piedra pómez, y la biotita (B). Fuente: Elaboración Propia.

Figure 3: Sample Diffractogram stone pumice and biotite (B). Source: Own Elaboration



Figura 4: Microfotografías de un campo donde se observa a izquierda la presencia de vidrio (V) y a derecha superficie de un trozo de piedra pómez, con inclusión de mica (B). Fuente: Elaboración Propia.

Figure 4: Photomicrographs of a field where there is left to the presence of glass (V) and the right surface of a piece of pumice, including mica (B). Source: Own Elaboration

También en la Figura 4 pero a derecha se muestra mediante una fotografía de PP con inclusiones de mica (biotita). Por otro lado y como resultado del estudio de difracción de rayos X y observación óptica realizada en el Instituto de Investigaciones Mineras de la FI-UNSJ, se pudo confirmar que los minerales presentes con estructura cristalina y abundancia que pueden ser detectados por el método son: cuarzo, feldespato, calcita y mica (biotita), tal como puede observarse en la Figura 5. Las observaciones realizadas en lupa binocular sobre la muestra molido permitieron confirmar la presencia de vidrio volcánico, mica (biotita), feldespato y calcita.

Estimando que el porcentaje de minerales aislantes tales como el vidrio es alto, y de alrededor del 60 % comparado con la baja presencia de mica y del orden del 6 %.

La muestra molida de IMA - 1 presenta además de vidrio (isótropo), minerales anisótropos (silicatos y carbonatos), como puede observarse en la Figura 6.

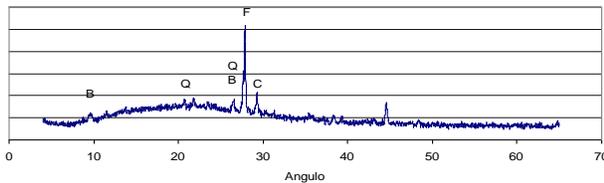


Figura 5: Difractograma de la muestra "IMA - 1", con Biotita (B), Cuarzo (Q), Feldespato (F) y Calcita. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 5: Sample Diffractogram "IMA - 1", where: B = biotite, quartz and Q = F = C = Feldspar and Calcite. Source: Own Elaboration

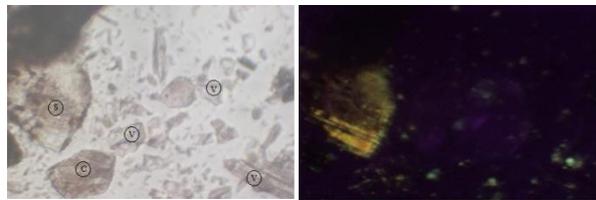


Figura 6: Microfotografías de un campo del microscopio donde se observa: a izq. presencia de vidrio (V), silicatos (S) y carbonato (C); y a der. con nicoles cruzados, los puntos brillantes que indican la presencia de impurezas (S) y (C). Fuente: Elaboración Propia.

Figure 6: Photomicrographs of a field of the microscope which observes presence left glass (V), silicates (S) and carbonate (C) and right with crossed nicols, the bright spots indicating the presence of impurities (S and C). Source: Own Elaboration

Para la determinación de las propiedades físico mecánicas del hormigón aligerado empleado se utilizó una muestra con una relación de cemento portland puzolánico (CPP) - pomeca

puzolánica 1:10. Esta dosificación ha sido aplicada en esta región árida en muros de quincha mejorada con alentadores resultados térmicos (Fernández, et. al, 2004).

La muestra fue ensayada a compresión en una probeta cilíndrica de altura: 30.30 cm, diámetro: 15.10 cm, peso: 6.500 gr, peso unitario: 1.2 gr/cm³. A los 28 días, al recibir una carga máxima de 2800 Kg, alcanzó una Tensión de Rotura de 15.63 Kg/cm² (Fig. 7).

En la Tabla 1 se observan las proporciones empleadas en el preparado de la mezcla con CPP e IMA-1 y sus propiedades físicas, después de 180 días. De los resultados del ensayo de compresión realizado según la Norma IRAM 1546 en el Instituto de Materiales y Suelos de la FI – UNSJ, e información obtenida con la adición de puzolanas en morteros (Granuterm, 2009), se observó que el desarrollo de resistencia a primeras edades es lento, pero que a mayor edad se obtiene mayor desarrollo de resistencia para las mezclas con adiciones (Becker, 2001).

3. Métodos

Diseño y Análisis de la Situación Térmica

El objetivo de este trabajo es sistematizar la incorporación de materiales con bajo impacto ambiental en la envolvente vertical (Klees, 2003), con características termoaislantes a través del desarrollo de nuevas técnicas constructivas (Baño Nieva, 2005). El fin del mismo es aportar estrategias de conservación de energía, originadas en características constructivas, térmicas y valorar la transmitancia térmica (IRAM 11601, 2002), de acuerdo las modificaciones introducidas en los elementos constructivos tradicionales tal como lo son las fachadas de viviendas de interés social.

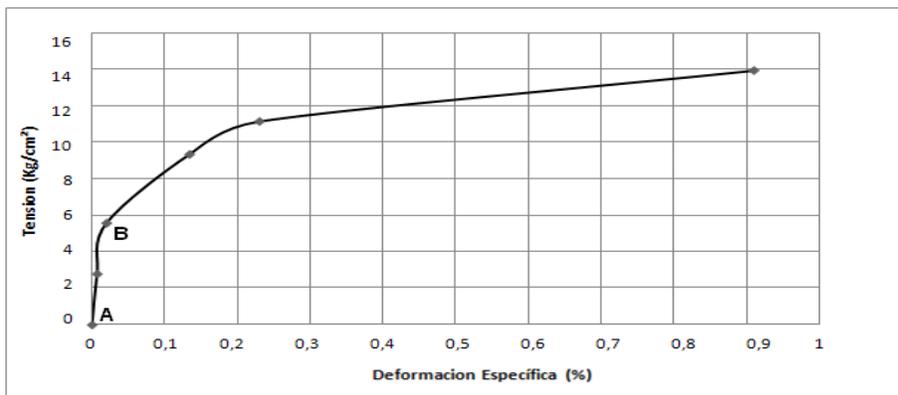


Figura 7: Resultados del ensayo y equipo de compresión a los 28 días. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 7: Test results and compression equipment at an age at 28 days. Source: Own Elaboration

Tabla 1: Propiedades Físicas del compuesto con Pomeca Puzolánica a los 180 días. Fuente: Elaboración Propia.
Table 1: Physical Properties of Pozzolanic Pomeca compound at 180 days. Source: Own Elaboration.

Relación CPP – Pomeca (IMA-1)	CPP 33 l.	Pomeca l.	Agua l.	Compresión Resistencia Kg/cm ²	Conductividad Térmica	Densidad Peso/ Volumen H°Seco
1:10	1	360	100	80 a 120	0,07- 0,09	0,690

El diseño de estas envolventes contempla dos capas, una interna y otra externa. Ambas capas fueron estudiadas con el material termoaislante de origen volcánico, de la muestra IMA -1. La capa, o “piel” exterior, necesita resistencia mecánica, debido a que tiene como función proteger y contener a la capa interna. Esta “piel” se encuentra constituida por placas compactadas con un ligero vibrado, previo amasado con CPP y agua (p/mortero de perlita con CPP de 300 a 700 kg/m³ la conductividad térmica varía entre 0.088 a 0.18 W/m²K).

Así la capa interna, con IMA -1 suelta (amasada con agua para su manipuleo), se complementa con la “piel” para disminuir aún más el intercambio térmico entre exterior e interior (Arambarri y Aglietti, 2000). Como consecuencia de sus microcélulas cerradas y vacías presenta una resistencia térmica similar a la perlita expandida suelta o granulada, para una densidad aparente entre 30 -130 kg/m³ alcanza un valor de 0.054 W/mK.

Un material aislante se caracteriza por el valor de su conductividad térmica; su poder aislante es tanto más elevado cuanto más pequeña es su conductividad (ATECOS, 2011). El valor de la perlita expandida representa una baja conductividad térmica si lo comparamos con la alta conductividad térmica del cobre que para una densidad aparente de 8900 kg/m³ asume un valor de conductividad térmica de 384 W/mK (IRAM 11601 2002).

El laboratorio acondicionado como vivienda de interés social del IMA se encuentra localizado en la Facultad de Ingeniería UNSJ dentro de la ciudad de San Juan. Como respuesta a la necesaria calidad higrotérmica que deben tener los elementos opacos en este lugar, los valores máximos de transmitancia de cerramientos (K max) responden a la macrozona bioclimática templado cálido IIIa. Según la temperatura exterior de diseño de la localidad, corresponde para invierno 1,5 °C y para verano 37,1 °C.

Se definieron las temperaturas superficiales interiores de los cerramientos según el nivel de confort, fijándose como las diferencias de temperaturas o gradientes entre el interior y la superficie interior del cerramiento (Alías, et. al, 2000).

Se adoptó el nivel medio B para casos generales de viviendas que impliquen URE. Y que corresponde a la transmitancia térmica (K) que asegure aceptables condiciones de confort térmico a través del control de la temperatura superficial interior en invierno, contemplando también los requerimientos de confort en edificios con acondicionamiento natural en verano.

Y también se consideró el nivel mínimo C para viviendas de interés social, que si bien no implica ahorro, evita el riesgo de condensación superficial en condiciones normales de uso y para controlar excesos de desconfort en verano (IRAM 11603, 1996).

- Para el nivel medio B de 2,5 °C, los valores de K máx resultante para verano son para muros 1.25 y en techos 0.48. Mientras que para invierno son en muros 0.97 y en techos 0.785. Considerando dar cumplimiento anual a los límites de la Norma (IRAM 11605, 1996), se adopta en muros 0.97 y en techos 0.48.

- Para el nivel mínimo C de 4 °C, los valores de K máx resultante para verano son para muros 2 y en techos 0.76. Mientras que para invierno son en muros 1.71 y en techos 1. Considerando dar cumplimiento anual a los límites de la Norma (IRAM 11605, 1996), se adopta en muros 1.71 y en techos 0.76.

El estudio fue desarrollado en relación al Diseño y Cálculo del K de un muro con bloques de hormigón constituido por unidades de 20 cm x 20 cm x 40 cm, de densidad normal con 2 cámaras de aire interior, terminado al revoque en el interior de 2,5 cm de espesor (Fig. 8).

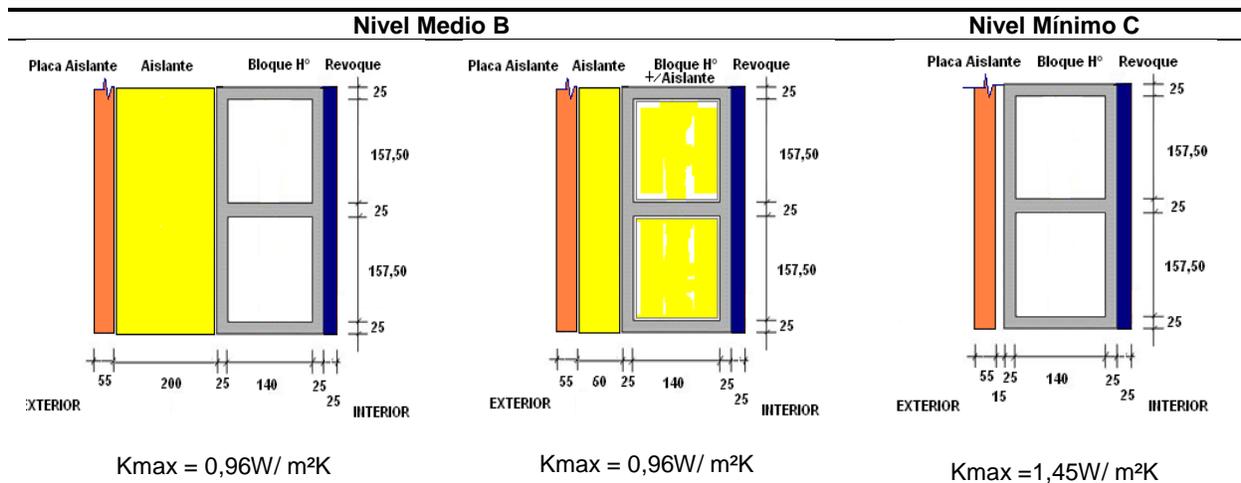


Figura 8: Diseño y Estudio de alternativas para viviendas terminadas o por construir. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 8: Design and Study of alternatives for homes completed or for build. Source: Own Elaboration



Figura 9: Proceso de fabricación y terminación de la capa externa. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 9: Process of manufacturing and finishing of the outer layer. Source: Own Elaboration.

Según resultados teóricos del INTI, mediante la utilización de un programa de simulación numérica que analiza el fenómeno de transmisión de calor en geometría bidimensional, el K para un muro de bloques de hormigón con estas características es de $2.46 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Es decir que para dar cumplimiento al nivel medio B, fue necesario que el muro aumentara su Resistencia total [Rt] a $6,126 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ y para el nivel mínimo C a $1,126 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

3.2 Diseño y Técnica Constructiva

El sistema constructivo fue diseñado con placas aislantes modulares de $0.50 \text{ m} \times 0.50 \text{ m} \times 0.05 \text{ m}$. Este sistema ha sido desarrollado considerando una producción en serie para revestir muros de fachadas, dadas las necesidades de contener, proteger el aislante térmico y brindar terminación según las alternativas de diseño que surgieron en relación con viviendas terminadas o por construir.

Como respuesta a la coordinación modular, la propuesta corresponde a limitar la transferencia

de calor de un 1 m^2 de muro de bloques de hormigón trabados. Esta unidad está soportada por un sistema de fijación y estructura liviana que alberga la capa interna y sostiene la capa externa o "piel" constituida por módulos premoldeados con IMA-1.

El procedimiento de ejecución para la capa interna es el siguiente:

- Selección del material aislante absorbente por utilizar.

- Cargado de la hormigonera para el mezclado de la pomeca y el agua. Este mojado previo, debe ser ejecutado 24 h antes, con escurrido durante la noche para facilitar la posterior trabajabilidad.

- Colocación dentro y/o entre el muro de bloques de hormigón y la piel externa

Y para la fabricación de la capa o "piel" externa además se realiza (Fig. 9):

- El agregado del CPP y se continúa mezclando hasta lograr mayor uniformidad.

- La preparación y llenado de los moldes metálicos. En estos encofrados se ha considerado previamente al desmolde, la disposición de protecciones constituidas por insertos o camisas que pertenecen a la placa y el pintado interior del molde con hidrófugo.

- Breve vibrado de alta frecuencia contra los moldes para conformar la placa exteriormente.

- Ligerito alisado sin apisonar con regla o fratacho evitando la compactación.

- Desmolde previo secado a la sombra y posterior secado final al sol, durante dos días según proceso de fraguado.

El procedimiento de fijación no requiere de mano de obra especializada. Las placas fueron sujetas al muro estructural de base, utilizando un taladro eléctrico con percutor neumático. Como elementos de fijación se utilizaron tarugos con tornillos con cabeza carrocera.

El apilado vertical, previo alineado y aplomado de la placa, fue ajustado según dimensiones del muro, utilizando reglas desmontables a modo de zócalos.

4. Resultados Experimentales y Discusión

- Los módulos premoldeados presentan gran versatilidad a distintos acabados, ya sea con terminación lisa o texturas rústicas creadas con diferentes granulometrías según aplicaciones y necesidades del proyecto.

Estas placas pueden incluir además de la aislación térmica propiamente dicha y la protección mecánica que surge del ligerito vibrado, barrera de vapor, preagujereado, prepintado hidrófugo de base y coloración según la estética buscada.

- Para evitar la infiltración del agua entre las uniones de placas las juntas fueron tomadas con una masilla de altas prestaciones y durabilidad con resistencia a los rayos UV para el sellado de juntas de movimientos y conexión entre materiales iguales o distintos.

- El diseño del sistema de envolvente para fachadas "vistas" se adapta a cambios posteriores considerando las propiedades físicas del compuesto con pomeca (Fig.10). Esto facilita, al final de su ciclo de vida como envolvente, la recuperación de todo el aislante suelto dispuesto a modo de capa interna dada las características de diseño con que ha sido creada.

- Atendiendo los estándares vigentes de nivel de calidad B y C la envolvente aislante propuesta para este caso permite reducir la transmitancia térmica a un 61 % y 41 % respectivamente.

- La aplicación de la IMA -1 suelta, resulta un 86,43 % más económica por metro cúbico que la perlita expandida, incluyendo el flete de traslado a la ciudad de San Juan.

- El rendimiento de la mano de obra empleada para la ejecución de la envolvente en forma de placas premoldeadas con técnica de montaje "en seco" fue el adecuado. Esta tarea fue ejecutada con placas atornilladas y sin tomar juntas. Un oficial y un ayudante terminaron en 1 h un 1 m². Los rendimientos promedios obtenidos, tiene validez para 100 m² mínimo.

En este tiempo y entre capas no fue necesario considerar demoras en el secado por clima adverso. Esto incluyó también descargas de materiales durante todo el proceso constructivo, disposición de reglas para ejecución de buñas o cortes, y hasta la limpieza de obra.

- Durante la campaña de mediciones realizadas en la ciudad de San Juan, en el mes de octubre, mediante la utilización de un sistema de adquisición de datos Fluke 2625 A, solarímetro Keep & Zonen y sensores de temperaturas integrados LM35 (Fig.11).



Figura 10: Situación de viviendas con fachadas "vistas". Fuente: Elaboración Propia.

Figure 10: Location of houses with walls "seen". Source: Own Elaboration.



Figura 11: estudios de mejoramiento experimental en el Box de ensayos del IMA. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 11: Studies in experimental breeding trials IMA Box. Source: Own Elaboration.

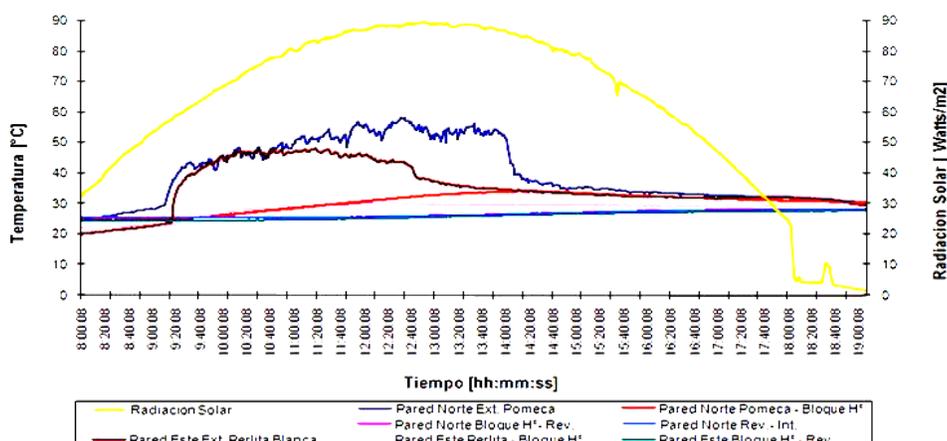


Figura 12: Comportamiento térmico del muro con envoltorio de placas con pomeca puzolánica. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 12: Thermal performance of the wall plates with surround pomeca puzzolanica. Source: Own Elaboration.

El aporte aislante de la “piel” envolvente, permitió obtener temperaturas de confort, manteniendo la cara interna del muro en relación con el ambiente interior (sensor block-revoque y block-revoque interior) por debajo de los 23°C.

Mientras la cara exterior de la placa con aislante natural sin pintar (sensor aislante-exterior) llega a alcanzar los 54 °C, con una temperatura exterior de 28 °C y radiación solar de 830 W/m² (Fig.12).

5. Conclusiones y Prospectivas

A través de la investigación desarrollada se demuestra el beneficio cuantificado que brinda una solución innovadora al problema de URE en las viviendas, a través de la incorporación de la aislación térmica. Como tecnología sustentable facilita la adaptación del hombre en zonas áridas y permite satisfacer las necesidades de habitabilidad, lo que significa tener en cuenta además del confort y el ahorro de energía que surge de una vivienda bien aislada térmicamente, a la salud y calidad de vida de sus habitantes. Para ello, se ha cumplido con un proceso de aplicación de conocimientos científico-técnicos que vincula el estudio de un material aislante regional de origen natural, con el diseño y análisis térmico para diferentes fachadas de viviendas construidas o por construir, y concluye con el diseño y experimentación como panel. Este proceso ha permitido determinar:

- Respecto del material aislante térmico

La pomeca puzolánica es un material de la región de origen volcánico, y contiene un alto

porcentaje de minerales aislantes térmicos como el vidrio, y la mica.

- Respecto de la disposición y aptitud de empleo

Este material dispuesto suelto y en combinación con una piel prefabricada externa a un muro de bloques de hormigón, contribuye a reducir pérdidas térmicas según diferentes necesidades de proyectos de fachadas terminadas y por construir. De esta manera la envolvente vertical brinda respuesta a requerimientos de transmitancia máxima que cumplir según estándares mínimos de calidad, tanto de viviendas de interés social como para casos generales de viviendas con URE.

- Respecto del diseño y uso como panel

Diseño sustentable

Al servir tanto de protección como de contención de la pomeca puzolánica suelta facilita al final de su ciclo de vida como envoltorio, la recuperación de todo el aislante suelto dispuesto a modo de capa interna.

Rápida ejecución de obra

El diseño y las características de la envolvente con placas aislantes térmicas contribuyen a un proceso industrializado planificado, desde su fabricación hasta la obra, lo que favorece la rapidez de construcción.

Adaptable a diferentes proyectos y obras

Tanto matrices, plantillados como estructuras de soporte permiten brindar el orden vertical y horizontal con distintos acabados o terminaciones

que favorecen una conveniente y flexible disposición en fachadas según necesidades de diseño.

En continuidad con el proceso desarrollado, el conocimiento adquirido, y los resultados obtenidos respecto de las características y uso de la pomeca puzolánica, en el futuro se realizarán investigaciones vinculadas a las fachadas transventiladas, con el objetivo de ampliar sus posibilidades de aplicación y así poder mejorar el comportamiento térmico. En estos estudios se buscará favorecer las pérdidas de calor por convección y así poder contrarrestar aún más el paso del calor al interior de las viviendas y edificios de departamentos localizados en las zonas más cálidas de zonas áridas.

Agradecimientos

La investigación es financiada por CONICET, SECYT, Rectorado, UNSJ, IMA, FI, UNSJ. Se agradece la cooperación de Leonardo A. Pogrebynski y Franco J. Rojaspor en tareas realizadas, en la disposición de sensores y adquisición de datos térmicos.

Referencias Bibliográficas

Alías, H., Jacobo, G., Pilar De Zalazar, C. (2002). Nueva normativa de acondicionamiento térmico de edificios: desarrollo del método de cálculo de la transmitancia térmica y condensaciones según normas IRAM actualizadas. Comparación con normativas anteriores. ITDAHu - www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2002/07-Tecnologías/T-017, 1-4.

Arambarri, G. y Aglietti E.F. (2000). *Materiales aislantes de perlita y silicato de calcio. Conductividad Térmica y Propiedades. CETMIC (Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica)*. En: Memorias de las Jornadas SAM 2000 - IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, Agosto. 941-947.

ATECOS. (2010). Asistente Técnico para la Construcción Sostenible - Materiales Aislantes Térmicos - Fundación Entorno-BCSD la Fundación de la Universidad Autónoma de Madrid (FUAM) y la empresa Miliarium.com España.

Baño Nieva, A. y Vigil E. Del Pozo, A. (2005). Guía de construcción sostenible. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), España, 57-69.

Becker, E. (2001). *Cemento Portland Puzolánico - Características y Recomendaciones de Uso - Asesoría Técnica* - Publicación de LOMA NEGRA C.I.A.S.A, 1-10.

Buigues, A. F. (2010). Integración sustentable de sistemas de cocción solar a la vivienda bioclimática:

estudio de envolventes con materiales termoaislantes de origen volcánico. En Memorias del II Simposio Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales como Fuente Sostenible de Materiales de Construcción. Universidad Politécnica de Valencia, 395-408

CEPAL. (1998). Promoción del Uso Eficiente de la Energía en América Latina – *Serie 10 Medio Ambiente y Desarrollo - Proyecto CEPAL / Comisión Europea - Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y El Caribe*, 7-17.

Fernández, J., Esteves, A. (2004). Conservación de energía en sistemas autoconstruidos. El caso de la quincha mejorada. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda INCIHUSA – CONICET *AVERMA*, 8, 5.121 - 5.128 .

IRAM 11601. (2002). Argentina. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de Cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Tabla de Conductividades Térmicas. Corresponde a la revisión de la norma IRAM 11601:1996. Ref. Numérica: IRAM 11601,14- 20.

IRAM 11603. (1996). Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación bioambiental de la Argentina, 1-47.

IRAM 11605, (1996). Argentina. Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos, 1-27.

Klees, D. R. y Coccato, C. (2003). *Ciclo de vida sostenible de los materiales de construcción.- 1º y 2º Etapa*. En Memorias de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas Depto. de Estabilidad – Fac. de Ingeniería – U.N. del Nordeste, 1-4

Sáa, M., Verstraete, J., y Vilapriño, R. (2005). Perspectivas del ahorro energético debido a la solarización de viviendas sociales. *AVERMA*, 9, 07.19-07.20.

Villavicencio, A. (2004). Mitos y realidad del mecanismo de Desarrollo Limpio - *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 1, 56-65.

Volantino, V., Bilbao, P., Azqueta, P. E., Bittner P., Englebert A. y Schopflocher M. (2002). Ahorro energético en el consumo de gas residencial mediante aislamiento térmico en la construcción, Unidad Técnica Habitabilidad Higrotérmica – Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI Construcciones - Comisión de trabajo URE en edificios. *AVERMA*, 11, 08.123 – 08.130.

Recibido: 17|12|2012
Aceptado: 08|05|2013