

Envolvente edilicia y conservación preventiva.

Diulio, María de la Paz ^(1,2*), **Gómez, Analía** ^(1,2)

(*)Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata, Calle 47 n° 162. C.P. 1900 La Plata, Argentina.
mpdiulio@fau.unlp.edu.ar, +5492215463473

(1) Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata, 1900 La Plata, Argentina

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

Resumen A partir de una evaluación medioambiental realizada en el archivo de protocolos del Colegio de Escribanos de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, se evidencia la oportunidad de aprovechar la incidencia de las características de la edificación en la conservación preventiva de los documentos a preservar. Para demostrar esta asociación, se realiza una prueba de correlación utilizando 33 casos de estudio en los que se ha monitoreado temperatura y humedad relativa durante un año. En primer lugar se elaboran indicadores que permiten evaluar el desempeño de las salas, o variables dependientes; luego se calcula para cada caso el índice de pesadez o masa, adosamiento, transparencia y transmitancia térmica ponderada, denominadas variables independientes. Para medir la dependencia entre ambas se realizan pruebas de correlación que muestran que existe una dependencia de moderada a fuerte entre las características de la envolvente, o variables independientes, y el desempeño alcanzado, o variables dependientes. Las conclusiones indican que incorporando estas variables de diseño a las pautas existentes para la creación de nuevos espacios de conservación, es decir, aprovechando las propiedades naturales de la envolvente se mejora calidad higrotérmica de los espacios, en tanto reducir la demanda de energía adicional en climatización.

Palabras clave Bibliotecas, Patrimonio, Conservación preventiva, Diseño pasivo

1 Introducción

En el marco de un convenio de asesoramiento entre el Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LAyHS) y el Colegio de Escribanos de la Provincia de Buenos Aires (ColEscBA) se realiza una evaluación del comportamiento medioambiental interior de una nueva edificación respecto a los parámetros de conservación de papel. El LAyHS desarrolla el proyecto de investigación U143 denominado Plan de contingencia ambiental para bibliotecas, archivos y museos ante el cambio climático; y U141 Certificación de edificios sustentables para la adaptación y mitigación del cambio climático, financiados por la Universidad Nacional de La Plata entre 2014 y 2018. En este contexto se realiza un asesoramiento sobre el comportamiento de un tipo de envolvente determinado. El ColEscBA tiene como misión la guarda, custodia y conservación de los tomos de Protocolo que datan de 1778.

La temperatura, la humedad relativa, y la iluminación, entre otros, son agentes que deben controlarse en espacios donde el material alojado es único y valioso, ya que tanto los valores extremos como las oscilaciones en períodos breves de tiempo favorecen el degrado. El monitoreo ambiental es una medida que permite verificar si dichas variables están dentro de los rangos adecuados para la conservación o si deben tomarse medidas correctivas en los espacios de guarda.

Las conclusiones de este trabajo mostraron una clara influencia del efecto de la masa de la envolvente en el microclima interior. Este hallazgo motivó el estudio de otras variables físicas de la envolvente que puedan ser aprovechadas como recomendación ante la necesidad de diseñar edificios que contemplen la conservación preventiva del patrimonio utilizando medidas pasivas de acondicionamiento.

2 Caso de Estudio: el Archivo de Protocolos del ColEscBA

El Archivo de Protocolos del ColEscBA está ubicado en las afueras de la Ciudad de La Plata, con Latitud 34.8 Sur, localidad con veranos suaves ($t_{\text{máx,med}}= 28.5^{\circ}\text{C}$) e inviernos poco rigurosos ($t_{\text{mín,med}}= 6.7^{\circ}\text{C}$) con alta humedad ambiente (HR= 71 y 86%). La temperatura de diseño máxima para el verano es 35.5°C (percentil 99% IRAM 11603) y temperatura de diseño mínima de invierno -2.4°C (percentil 1% IRAM 11603). El 71% de los días de un año estadístico las temperaturas medias se encuentran por debajo del nivel de confort.

El sector del edificio destinado a archivos consiste en cuatro naves de 1878 m^2 conectadas por un corredor lateral y no cuenta con equipamiento de climatización. La envolvente es liviana: panel sándwich en cubierta y ladrillo de hormigón celular en muros exteriores. Las aberturas, de marco de aluminio con vidrio

simple, se ubican a una altura superior a la de las estanterías con el objetivo aparente de evitar la incidencia de sol directo sobre los lomos de los Protocolos.

Para caracterizar la transmitancia térmica de la envolvente y así compararla con los parámetros de referencia según temperatura de diseño de invierno se utilizan las normas IRAM 11601 (2002) y 11605(1996). También se calcula la masa de la envolvente para determinar la potencial acumulación de energía. Los cálculos muestran que la envolvente es ciertamente liviana: la masa de muros y cubierta es de 153 y 774 Kg/m² respectivamente. El suelo ha rellenado con tosca, lo que aumenta su masa a 3330 Kg/m²; y la transmitancia térmica es baja, en Nivel A de la Norma IRAM 11605.

Siguiendo los protocolos de medición internacionales (UNI, 1999, 1997) se diseña una campaña de medición medioambiental en cuatro períodos de un año para conocer los resultados bajo diferentes condiciones de clima exterior. En esta oportunidad se comentan los resultados del período estival. Se colocan dataloggers (DL) Onset Hobo que registran y almacenan temperatura (T) y humedad relativa (HR). Los DL se configuran para registrar y almacenar cada 30 minutos. Pasados 30 días los DL se retiran para su descarga y procesamiento en ordenador. El instrumental utilizado es Hobo U10-003 temp/rh; Hobo U12-012 Temp/RH/light/ext; Hobo U23-001 temp/RH con una precisión de +/-2.5% y +/-0.35°C.

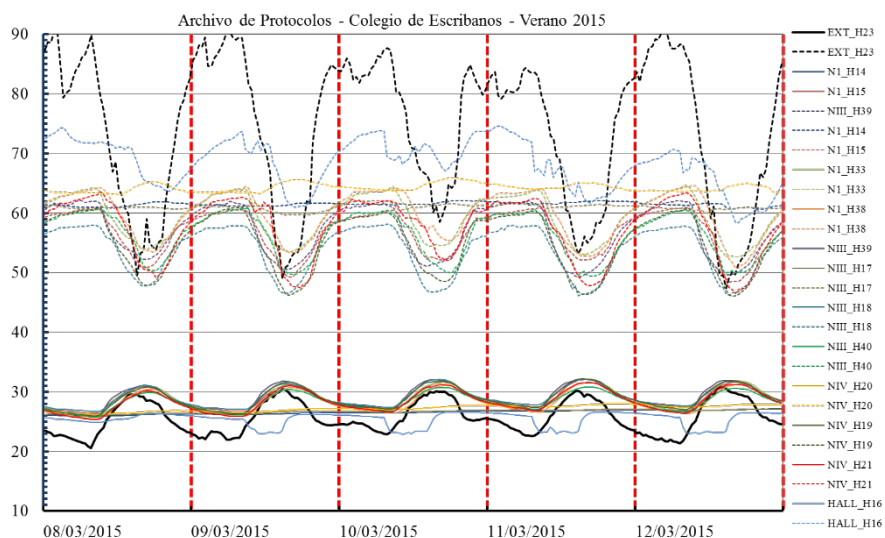


Fig. 1 Transcurso de 5 días de verano

La Fig. 1 muestra un eje temporal en el que cada línea representa una variable evaluada. Las líneas de humedad relativa se grafican con línea de trazos mientras que las líneas de temperatura se grafican con línea llena. Un mismo color representa a un mismo sensor. En dicha figura, se muestra un detalle del período de verano en el que se observa, que el interior del edificio está a mayor

temperatura que el aire exterior; aun de noche cuando las temperaturas descienden hay 5°C de diferencia.

Analizando el interior de las naves, es notable la situación de los sensores 14 y 17, colocados a 0.60 m. sobre el nivel cero respecto del resto. La masa de acumulación que brinda la sobre elevación del terreno reduce la dispersión de la temperatura, estabilizando además la humedad relativa.

No se observan diferencias significativas entre los sensores ubicados en zona este y oeste, más que el desfase producido por las horas de insolación y el movimiento del sol. Se observa que en verano la temperatura interior de las naves es superior a lo ideal para un ambiente de conservación, con T mínimas de 24°C, mientras que la HR se encuentra gran parte del tiempo dentro de lo esperable, entre 50 y 65%. La inercia térmica que le otorga la masa de acumulación del suelo al ambiente es una potencialidad que puede ser tenida en cuenta en la construcción de nuevos depósitos, para incorporar en muros perimetrales o muros divisorios interiores. Queda evidenciada la necesidad de implementar un sistema de ventilación nocturno que aproveche la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior (Diulio et al., 2015).

3 Descripción del estudio a realizar

Para la detección de las características que influyen el microclima de conservación es necesario definir indicadores que permitan establecer niveles de calidad ambiental. Estos indicadores se obtienen en la información recogida en el monitoreo anual de 11 casos de bibliotecas, y 33 salas auditadas. De esta manera, de acuerdo al desempeño encontrado en cada una de las salas, a lo largo del monitoreo anual, se determina un valor entre 0 y 1 que indica en sentido creciente la similitud del ambiente a las condiciones ideales de T y HR para la conservación.

Las variables relativas a la construcción se asocian al efecto de la masa, adosamiento, transparencia y transmitancia térmica. Finalmente se propone un método de asociación para establecer relaciones de dependencia entre las variables morfológicas estudiadas y el desempeño higrotérmico observado.

3.1 Variables dependientes

3.1.1 Índice de posición

El índice de posición expresa la relación porcentual que existe entre la cantidad de registros en los que tanto la T como la HR se encuentran dentro del rango

determinado como adecuado para dicha sala de conservación sobre la totalidad de instantes de medición del período evaluado (Corgnati et al., 2009; Corgnati and Filippi, 2010). El concepto de Índice de posición (Ec. 1) representa la ubicación de los datos obtenidos respecto de los valores de referencia.

$$IP = r_{\text{cons}} / R \quad (1)$$

Donde IP representa el índice de posición; r_{cons} los registros de medición que cumplen con la condición de conservación; y R es el total de registros de medición.

3.1.2 Índice de resiliencia

Utilizando como insumo los datos del monitoreo medioambiental realizado con dataloggers, se calcula la variación de la T y HR en un período de tiempo. El índice de resiliencia (Ec. 2) indica la relación porcentual entre los días en los que la amplitud diaria de T y HR fue menor a la máxima admisible sobre el total de días evaluados en el año (Diulio and Gómez, 2014).

$$IR = d_{\text{cons}} / D \quad (2)$$

Donde IR representa el índice de resiliencia; d_{cons} los días de medición que cumplen con la condición de conservación; y D, el total de días de medición.

3.1.3 Índice de desempeño

El índice de desempeño (Ec. 3) puede utilizarse para evaluar el comportamiento higrotérmico de un ambiente de conservación debido a que incorpora los dos principales criterios que deben satisfacer, según la bibliografía, los espacios de conservación: mantener los valores de T y HR dentro del rango adoptado, y que la amplitud diaria de dichos valores de T y HR no superen los máximos admisibles.

$$ID = (IP+IR)/2 \quad (3)$$

3.2 Variables independientes

Las variables independientes son aquellas características del edificio que se estudian con la hipótesis de que son capaces de incidir en alguna medida en las características higro-térmicas interiores de los ambientes.

3.2.1 Pesadez o masa

Esta característica física depende de los elementos constitutivos del cerramiento y la estructura del edificio. Se calcula como la masa de la superficie del edificio sobre la superficie del cerramiento del edificio (Ec. 4), es decir que es un promedio de masa por metro cuadrado de envolvente.

$$PS = M/S \quad (4)$$

Donde PS representa la pesadez, que se expresa en Kg/m²; M es la masa, expresada en Kg; y S la superficie, expresada en m².

La ley de masas indica que el incremento de la pesadez implica un mejor aislamiento acústico respecto del exterior, así como una mayor inercia térmica y amortiguación de las variaciones del clima exterior. Esta composición es adecuada para climas continentales con gran amplitud térmica.

3.2.2 Adosamiento

El adosamiento indica el grado de contacto de las paredes exteriores del edificio con otras edificaciones vecinas. Se calcula como la relación entre la superficie en contacto con edificaciones vecinas sobre la superficie global, que es la superficie total de la envolvente (Ec. 5).

$$AD = S_{ad} / SG \quad (5)$$

Donde AD representa el Coeficiente de adosamiento; S_{ad} la Superficie adosada; y SG la superficie global de la envolvente.

La inercia térmica del suelo funciona como protección del edificio, reduciendo el impacto de los cambios externos. Un edificio adosado puede funcionar de manera similar, el volumen ladero puede estar climatizado, reduciendo las pérdidas por envolvente. Por el mismo motivo es más difícil captar la radiación solar y generar corrientes de ventilación natural. Es muy útil en climas fríos y secos (Serra Florensa and Coch Roura, 2001, p. 251).

3.2.3 Transparencia

El coeficiente de transparencia (Ec. 6) cuantifica la capacidad del edificio de permitir el ingreso de radiación solar. Este indicador representa la proporción de superficie envolvente vidriada sobre el total de la superficie envolvente.

$$TR = SV / SG \quad (6)$$

Donde TR es el Coeficiente de transparencia; SV la Superficie vidriada y SG representa la superficie global.

La mayor transparencia genera una capacidad claramente mayor de iluminar naturalmente un ambiente. El cristal es un buen conductor de las ondas sonoras, por lo tanto una superficie vidriada va a permitir el ingreso de ruidos desde el exterior. El paso de la radiación a través de una superficie transparente calienta el volumen interior, y a causa de la reflexión con mayor longitud de onda no puede volver a atravesar el vidrio, generando el conocido efecto invernadero.

3.2.5 Transmitancia térmica ponderada

Es la capacidad de la piel de permitir el paso de energía a través de su espesor. Este flujo de energía se mide en vatios (W) por cada metro cuadrado de superficie envolvente, por cada Kelvin de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Dado que la envolvente global se compone de la adición de diferentes tipos constructivos, se calcula un valor de transmitancia ponderado, proporcional a la relación entre la superficie de cada material y el total de la superficie envolvente.

$$K \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) = 1/R_{\text{total}}(\text{m}^2 \text{ K})/\text{W} \quad (7)$$

Con el valor de K de cada tipo constructivo (Ec. 7) se calcula el K ponderado, o coeficiente de transmitancia (Ec. 8):

$$K_{\text{pond}} = \Sigma [(KT_1 * ST_1) + (KT_2 * ST_2) + (KT_3 * ST_3) + (KT_n * ST_n)] / S_{\text{GLOBAL}} (\text{m}^2) \quad (8)$$

En esta ecuación, KT_1 a KT_n es el coeficiente de transmitancia térmica (K) de cada uno de los tipos constructivos; ST_1 a ST_n es la superficie de cada tipo constructivo; y S_{GLOBAL} es la superficie global de la envolvente.

Los elementos con baja transmitancia térmica impiden el ingreso de calor en verano, y evitan la pérdida del calor interior en invierno, por lo tanto es deseable en climas extremos, y en los cerramientos con orientación más desfavorecida.

4 Resultados

Se realizan pruebas de correlación colocando los valores de las variables independientes (masa o pesadez, adosamiento, transparencia y transmitancia térmica ponderada) de cada uno de los 33 casos en el eje "X" de un sistema cartesiano, cuyos valores en el eje "y" corresponden a los valores de las variables dependientes obtenidas (posición, resiliencia y desempeño).

Cuando la distribución de la muestra es lineal, puede medirse la fuerza de la asociación por medio del coeficiente R^2 o coeficiente de determinación. El coeficiente R^2 toma valores entre 0 y 1, para pendientes positivas y -1 y 0 para pendientes negativas. Los resultados con valores absolutos mayores (-1 y 1) muestran un grado de asociación más fuerte y permiten descartar la hipótesis nula (de independencia) de las variables.

4.1 Relación entre pesadez y desempeño

Esta prueba de regresión lineal simple muestra una relación positiva débil entre la pesadez de la envolvente y las variables que implican desempeño, Fig. 2.

De los 14 casos en los que el índice de desempeño es 0.60 o superior, 12 tienen envolventes cuyo peso promedio por unidad de superficie es superior a 400 Kg/m², lo que establece un antecedente para asociar el peso promedio de la envolvente con el desempeño. Por encima de los 400 Kg/m² no se observa ninguna tendencia y se pierde la linealidad de la función, por lo tanto no se justifica adicionar más masa a los cerramientos porque no repercute en el clima interior.

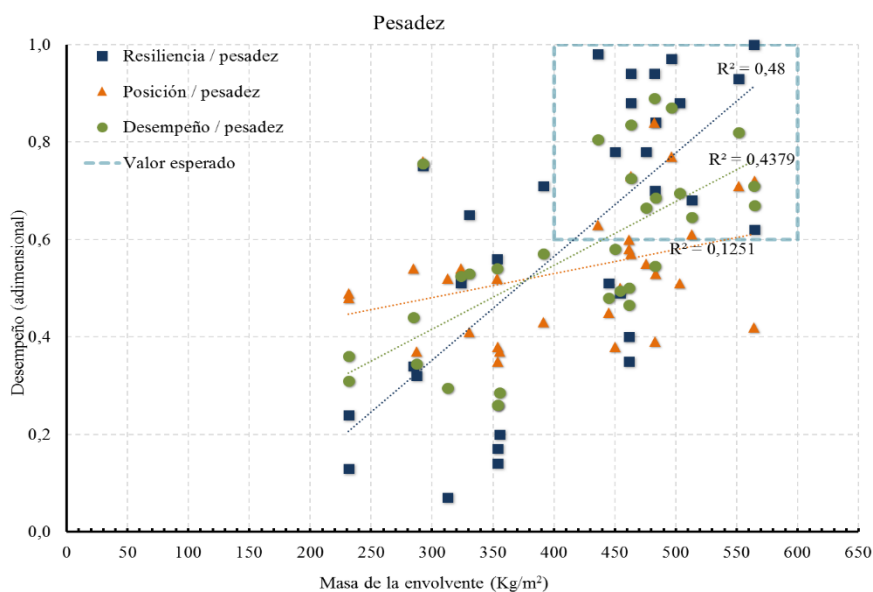


Fig. 2 relaciones entre pesadez e índice de desempeño

4.2 Relación entre adosamiento y desempeño

Esta regresión se realiza con la hipótesis de probar que existe dependencia entre el grado de adosamiento de las salas monitoreadas a salas contiguas e índices de posición, resiliencia y desempeño (Fig. 3). En el caso de la variable “adosamiento” se observa que no ejerce influencia en el índice de posición ya que la correlación es débil ($R^2=0.15$), mientras que si existe dependencia media respecto de la resiliencia, o capacidad de reducir las oscilaciones de temperatura y humedad relativa interiores ($R^2=0.61$). Para el índice de desempeño, el coeficiente de determinación toma el valor 0.56.

El 67% de la muestra se constituye de salas que poseen más del 50% de su superficie envolvente en contacto con otro ambiente. Menos de la mitad de estas salas tiene un índice de posición superior a 0.60 (la dependencia es baja); pero el 73% tiene un buen índice de resiliencia superior a 0.60, y dado que el índice de determinación es alto permite predecir un comportamiento adecuado en salas con ésta característica.

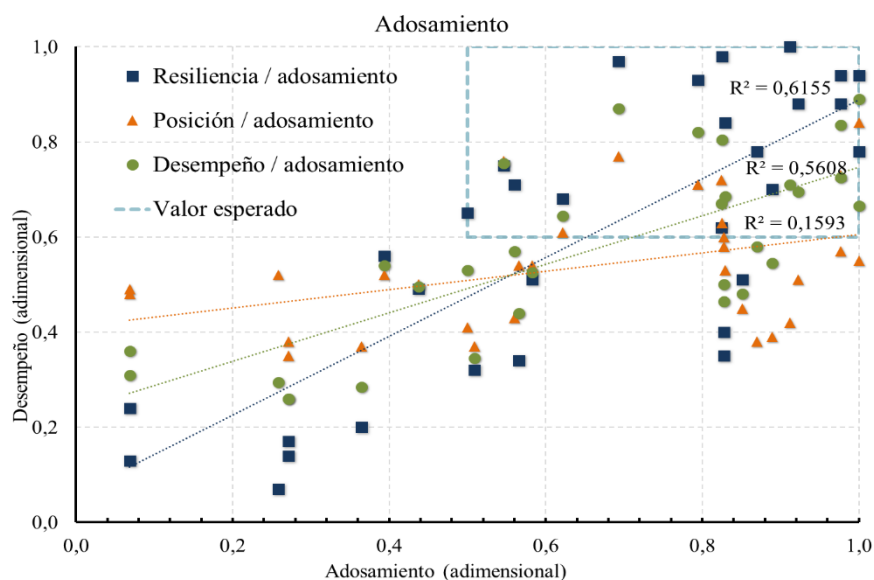


Fig. 3 relaciones entre adosamiento e índice de posición

4.3 Relación entre transparencia y desempeño

Esta prueba tiene como fin medir la dependencia entre la proporción de paños vidriados en contacto con el exterior de las salas y su desempeño higrotérmico. La hipótesis es que los edificios cuya envolvente tiene grandes proporciones de paños transparentes, tienen un desempeño higrotérmico deficiente.

En la Fig. 4 se observa que en el caso del índice de posición la incidencia de la transparencia de la superficie es débil ($R^2=0.25$), es decir que no influye sobre el hecho de alcanzar un determinado estándar higrotérmico, mientras que sí existe dependencia en moderada ($R^2= 0.51$) de tendencia negativa en el índice de resiliencia, es decir, que a mayor superficies transparentes la amplitud diaria de temperatura y humedad relativa supera el máximo admisible del criterio adoptado. La misma dependencia moderada se observa entre la transparencia con el índice de desempeño, que surge de combinar los índices de posición y resiliencia.

Ninguna sala con superficie vidriada al exterior mayor al 6% del total de la envolvente cumple con un desempeño mayor que 0.60. El total de las salas exclusivas para la guarda de documentos tienen menos del 5.3% de su envolvente vidriada, y un índice de resiliencia mayor a 0.65. Las salas con más del 10% de superficie vidriada conforman el 21% de la muestra y son salas de uso para el personal o usuarios, o de usos mixtos (por ejemplo, estantería abierta en sala de lectura).

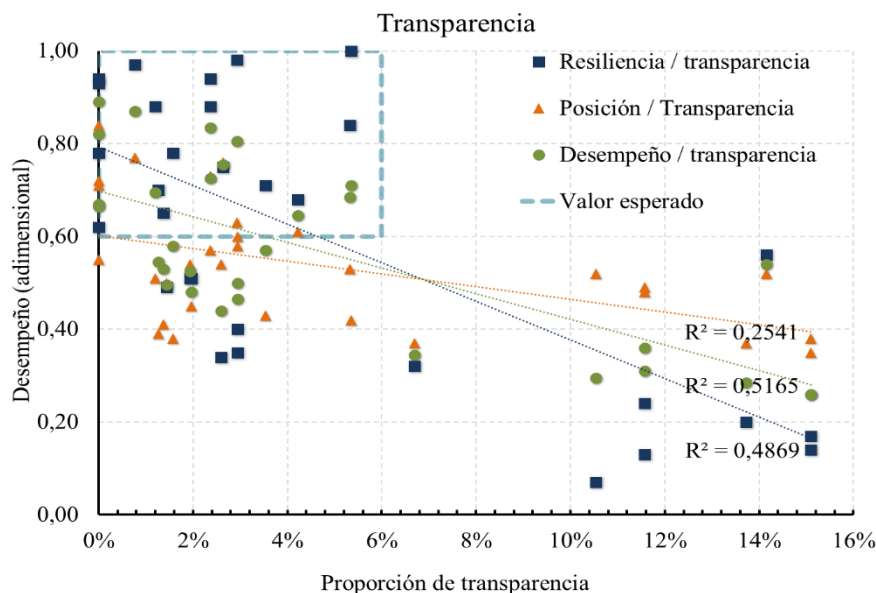


Fig. 4 Relación entre transparencia y desempeño

4.4 Relación entre transmitancia térmica ponderada (K') y desempeño

El coeficiente de determinación entre K' y las variables que representan el desempeño es negativa, es decir, que a medida de que el valor de K' se incrementa, el desempeño decae.

De las 20 unidades de análisis cuyo valor K' es inferior a $1.70 \text{ W/m}^2\text{K}$, el 65% de éstos alcanza un desempeño superior 0.60, el 55% tiene un índice de resiliencia superior a 0.60 y el 45% supera esta marca en índice de posición.

Para un nivel B en la ciudad de La Plata la condición de transmitancia máxima adoptada será de $0.95 \text{ W/m}^2\text{K}$ en muros y $0.77 \text{ W/m}^2\text{K}$ en techos (IRAM, 1996). Estableciendo que existe una dependencia moderada del desempeño higrotérmico respecto de la transmitancia térmica ponderada de la envolvente, podemos inferir que con la adaptación de cerramientos a la normativa vigente, no sólo se alcanza un nivel de acondicionamiento que permite usar racionalmente la energía en climatización en las salas, sino que se mejora la calidad higrotérmica de los espacios de conservación, aumentando la expectativa de vida de los materiales.

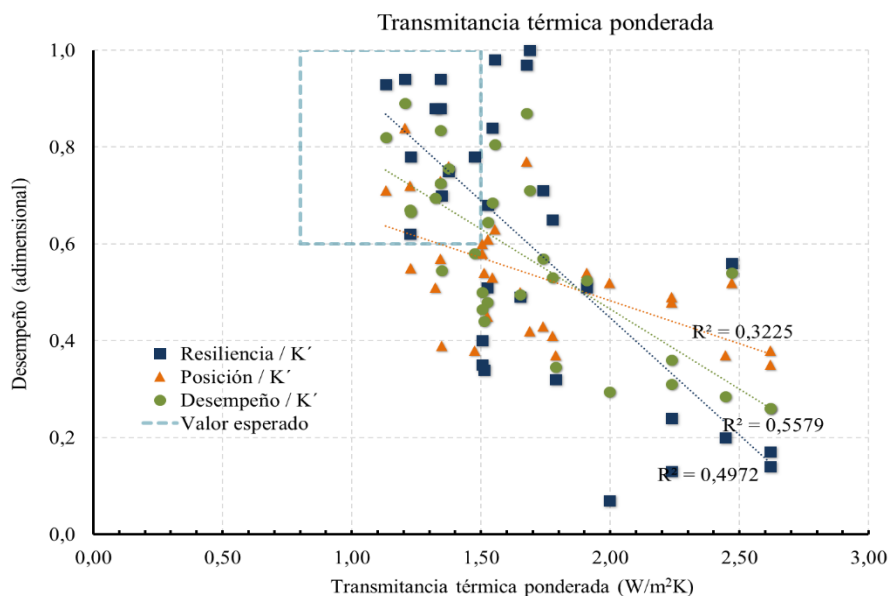


Fig. 5 relaciones entre transmitancia térmica ponderada e índice de desempeño

5 Conclusiones

Con el objetivo de asociar determinadas composiciones edilicias a los distintos grados de desempeño higrotérmico, se realiza una serie de pruebas de correlación con las mediciones provenientes del ColEscBA y de 33 salas provenientes de 11 bibliotecas en La Plata, Argentina, llegando a las siguientes conclusiones:

1. La prueba realizada respecto de la pesadez muestra un mejor desempeño a partir de los 400 y 600 Kg/m². Se hallan coeficientes de determinación más elevados en resiliencia que en posición y desempeño. Es decir que, cuando la masa de acumulación es mayor, la sala logra cumplir con más aptitud la condición de mantener reducidas las amplitudes de T y HR.

2. El índice de adosamiento cuantifica la proporción de superficie envolvente que se encuentra en contacto con otros ambientes. Se prueba la asociación con los indicadores desarrollados y se encuentra una relación lineal positiva, con una fuerza de asociación de 0.56 (moderada) que constituye una pauta de recomendación por ser un factor de influencia significativo. En la muestra analizada, las salas con el 50% de su superficie envolvente adosada a otro ambiente contiguo mostraron mejor índice de resiliencia (73% con IR>0.60) respecto de las salas exentas.

3. El análisis de transparencia muestra una correlación lineal negativa de -0.51 (moderada) respecto del índice de resiliencia. La proporción de vidrio sobre el total de la envolvente debería limitarse al 6% en espacios de guarda.

4. El desempeño higrotérmico es inversamente proporcional a la transmitancia térmica, con una fuerza de asociación moderada, al igual que el IP e IR. Se observan mejores resultados con envolventes que poseen coeficiente K' bajos, lo que permite predecir que la consolidación de la envolvente exterior según las condiciones exigibles de la normativa actual implicarían una mejora sustancial en el ambiente de conservación.

Agradecimiento Las autoras agradecen la colaboración del personal las Bibliotecas de la UNLP que participaron de esta investigación.

Bibliografía

- Corgnati, S.P., Fabi, V., Filippi, M., 2009. A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: Application to a temporary exhibit. *Building and Environment* 44, 1253–1260. doi:10.1016/j.buildenv.2008.09.012
- Corgnati, S.P., Filippi, M., 2010. Assessment of thermo-hygrometric quality in museums: Method and in-field application to the “Duccio di Buoninsegna” exhibition at Santa Maria della Scala (Siena, Italy). *Journal of Cultural Heritage* 11, 345–349. doi:10.1016/j.culher.2009.05.003
- Diulio, M. de la P., García Santa Cruz, M.G., Hernández, M., Gómez, A., Czajkowski, J., 2015. Monitoreo estival de condiciones ambientales en archivo de protocolos del Colegio Escribanos de Buenos Aires, in: *Actas Arquisur 2015. Ciudades Vulnerables. Proyecto O Incertidumbre*.
- Diulio, M. de la P., Gómez, A.F., 2014. Propuesta metodológica de evaluación higrotérmica para la conservación preventiva del papel. *Revista Hábitat Sustentable* 4, 36–45.
- IRAM, 2002. 11601. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Aislamiento térmico de edificios.
- IRAM, 1996. 11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Aislamiento térmico de edificios.
- Serra Florensa, R., Coch Roura, H., 2001. *Arquitectura y energía natural*. UPC, Barcelona.
- UNI, 1999. 10829. Condizioni ambientali di conservazione, misurazione ed analisi.
- UNI, 1997. 10586. Condizione climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti.