



XV ENCAC Encuentro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encuentro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

DURACIÓN ÓPTIMA DE UNA MEDICIÓN DE HUMEDAD RELATIVA PARA SIMPLIFICAR EL TRABAJO DE CAMPO EN CLIMA TROPICAL

Jorge Hernán Salazar Trujillo

Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura. Carrera 65 Nro. 59A-110
Bloque 24. Medellín, Colombia. Teléfono: +57 4 4309412. Email: jhsalaza@unal.edu.co

RESUMEN

Cuando se utilizan data loggers en proyectos de investigación es frecuente la tendencia a registrar temperaturas y humedades durante más días del mínimo necesario. El objetivo es acortar el trabajo de campo y para ello se estudia aquí el intervalo óptimo para la duración de las campañas de monitorización ante las condiciones de ausencia de estaciones propias de la zona ecuatorial. Se trabajó inicialmente con registros de humedad relativa porque son las series que presentan una mayor variabilidad diaria según haya o no lluvia. Un trabajo en curso está explorando la duración óptima para la temperatura de bulbo seco, con el propósito futuro de confrontar los resultados con los de este estudio. A partir de series de referencia con humedades recopiladas durante un año completo, se calculó el grado de incertidumbre que generaría el trabajar con sub-series de datos más cortas, en comparación con haber procesado las series completas. Se comparan tres maneras diferentes de seleccionar los datos y se evalúa para cada una la pérdida en precisión que implicaría esta economía de recursos usando varios parámetros higrométricos. Se concluye que ante la ausencia de anomalías climáticas severas tipo Niño ó Niña, y dependiendo de la manera como se programen las campañas de medida, será suficiente medir humedad relativa en un periodo entre 6 y 56 días para obtener valores con una semejanza del 95% con respecto a los resultados que se hubieran obtenido de haber medido durante todo un año de manera continua.

Palabras clave: Data loggers, Monitorización de humedad, Recolección de datos, Arquitectura tropical.

ABSTRACT

When data loggers are used in research projects, the tendency to register temperatures and humidity for more days than the minimum necessary is frequent. The objective is to reduce the fieldwork and for this purpose, we study the optimum interval for the duration of the monitoring campaigns in the absence of stations of the equatorial zone. We initially worked with relative humidity records because they are the series that show greater daily variability according to whether there is rain or not. A work in progress is exploring the optimal duration for the dry bulb temperature, with the future purpose of comparing the results with those of this study. From reference series with humidity data collected during a full year, the uncertainty that would be generated by working with shorter sub-series of data was calculated, in comparison with complete series processing. Three different ways of selecting the data were compared and the loss in precision that this economy of resources would generate was made, using several hygrometric parameters. It is concluded that in the absence of severe climatic anomalies such as Niño or Niña, and depending on how the measurement campaigns are programmed, it will be sufficient to measure relative humidity in a period between 6 and 56 days to obtain values with a 95% similarity compared to the results that would have been obtained of having measured continuously for a whole year.

Keywords: Data Logging, Humidity Monitoring, Data collection technique, Tropical architecture.

1. INTRODUCCIÓN

La recolección automática y continua de humedades empleando loggers, también conocidos como sensores remotos programables, ayuda a comprender el desempeño higrométrico de un lugar y/o edificación existente de una manera económica y fiable. Hace años que estos equipos se emplean en diversidad de aplicaciones técnicas y científicas en arquitectura, entre ellas: estudios de post-ocupación (FILIPPIN, 2012), diagnósticos de patologías térmicas (SINGH, 2016), rehabilitaciones energéticas del tipo “antes y después” (GIANCOLA, 2014), estudios de confort (LIU, 2017) (WANG, 2016), medición del beneficio higrométrico de alguna configuración arquitectónica (CANTÓN, 2014), calibración de simulaciones térmicas (SADAFI, 2011), estudios de la masa térmica de los materiales de construcción (IP, 2009), cuantificación de los efectos de isla de calor (ZINZI, 2018), uso peatonal del espacio público (GUO, 2017), intervenciones en edificaciones patrimoniales (VARAS, 2014), entre muchos otros.

Desde hace por lo menos quince años se comenzó a publicar, con regularidad, literatura científica sustentada en datos provenientes de monitorizaciones higrotérmicas. En este tipo de trabajos es frecuente que se describan los criterios empleados en la ubicación de los equipos para asegurar una buena medición; la prevención del vandalismo ó proteger de los rayos del sol y la lluvia. Sin embargo, rara vez se exponen los criterios empleados para definir la fecha de inicio de las mediciones, la duración de las campañas de monitorización y tampoco se hacen explícitos los criterios necesarios para hacer una medición representativa sin necesidad de prolongar en exceso las campañas de monitorización.

Son frecuentes los trabajos en los que se construyen extensas bases de datos provenientes de monitorizaciones de largo plazo para luego extraer de allí una pequeña porción de la información recolectada: fragmentos (KRUGER, 2008), temporadas típicas, tiempo de vacaciones, modos verano e invierno, intervalos de ocupación/desocupación y “días de prueba” (HUANG, 2007). Búsquedas en los recursos de apoyo ofrecidos por las industrias productoras de los equipos de medida, incluyendo sus foros de ayuda tampoco revelan mayor atención al tema (STETZ, 2017) (OMEGA, 2016) (MCC, 2012) (MADGETECH, 2018). Es entendible que un proveedor no se comprometa con la duración de las campañas de medida dando recomendaciones que podrían comprometer los resultados de investigaciones realizadas con los equipos que ellos producen: precaución razonable cuando no se tiene ningún conocimiento acerca del tipo de aplicación, contexto y clima donde se podría estar empleando un equipo.

Por su parte, los estándares internacionales relacionados con la medición de la temperatura y humedad del aire (ISO, 2018) (ASHRAE 1992), definen la manera correcta de tomar un registro con fines de certificación, especifican la manera en que se deben posicionar los equipos de medida, mencionan la precisión requerida del equipo, pero tampoco incluyen información que permita saber cuánto tiempo debería durar una campaña de monitorización.

Cuando se procesan los registros de humedad para depurar la base de datos es necesario distinguir lo típico de lo atípico, pero como no es posible conocer de manera anticipada el comportamiento de algo aún no estudiado, es inevitable la incertidumbre acerca de la suficiencia de la información recolectada. Como medida de precaución las campañas de monitorización se sobredimensionan y los equipos se dejan instalados tanto tiempo como sea posible, sin que esto necesariamente venga acompañado de un mejoramiento de los resultados obtenidos. La popularización de los modelos energéticos de plataforma computacional y la amplia disponibilidad de datos climáticos de base horaria anual aportan a la idea de que es necesario recolectar datos de un año completo. Bases de datos con humedades anuales son necesarias para simular consumos energéticos mediante modelos numéricos, metodología que no implica sobre costos porque el tiempo computacional es económico. Sin embargo, hacer estudios de monitorización en base anual puede constituir un despilfarro de recursos porque es una labor que implica gran esfuerzo logístico y mucho tiempo humano.

Se puede observar una generalizada aceptación de una idea no comprobada: que las monitorizaciones de larga duración son mejores que las de corta duración, a pesar de que es evidente que el registro exagerado de humedades prolonga el trabajo de campo y hace más laborioso el procesamiento de datos. Es pertinente resaltar que cuando se finalizan las campañas de medida, rara vez se invierte tiempo en conocer el grado de representatividad de la información recolectada. El equipo de investigación no tiene entonces cómo saber si se registraron humedades durante más tiempo del mínimo requerido, lo que ocasionó un innecesario encarecimiento del proyecto, o si por el contrario es necesario realizar una campaña de monitorización adicional antes de dar por terminado el trabajo de campo.

Procurar esta economía de esfuerzos es particularmente viable en estudios higrométricos realizados en lugares donde no se presentan variaciones estacionales marcadas y la humedad relativa promedio varía poco durante el año. Quien haya hecho monitorizaciones en la zona ecuatorial durante un par de meses, en una edificación con un patrón de utilización estable y que haya tenido cuidado de evitar mediciones durante los periodos de las anomalías climáticas que generan el fenómeno del Niño y de la Niña, habrá observado

que se mide muchas veces lo mismo. Al procesar los datos se evidencia un elevado nivel de redundancia, lo que implica que se podría haber llegado a la misma conclusión empleando menos datos de los que en su momento fueron recopilados. Como hipótesis de partida se estima que la escasa variabilidad climática de un lugar sin estaciones permite aminorar la duración de las campañas de medición sin afectar la calidad de los resultados obtenidos si durante el periodo de la medición no se presentaron eventos climáticos singulares ni tampoco situaciones de ocupación y uso no cotidianos. Fig 1.

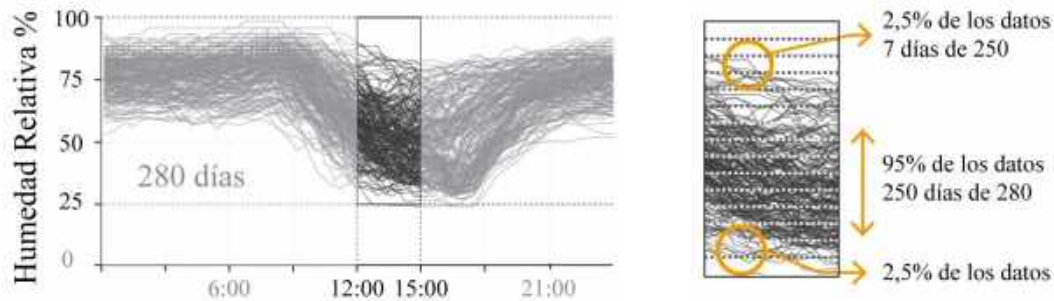


Figura 1 – Humedad relativa de un lugar en el trópico andino (latitud 6.25°N, longitud -75.55°, altitud 2600msnm). Derecha: Ampliación del intervalo entre las 12:00 y las 15:00, cuando se presenta la mayor variabilidad diaria. Fuente: Elaboración propia.

Este trabajo se orientó a determinar el mínimo de días que debería durar una campaña de monitorización de humedad relativa para un lugar con una baja variabilidad térmica anual. El propósito fue emplear la menor información posible para obtener valores confiables acerca del comportamiento anual del lugar o edificación medida y determinar el número de días a partir del cual no tendría sentido prolongar las campañas de medición porque se comenzaría a recopilar más información de la necesaria. La metodología desarrollada también se puede emplear en lugares y edificaciones con otros climas, procesando de manera similar sus registros de humedad relativa. Los resultados obtenidos serán de utilidad durante el diseño del trabajo de campo y permiten prevenir el sobre-dimensionamiento de las campañas de monitorización.

2. OBJETIVO

Definir el número de días que debería durar una campaña de medición de humedad relativa en condiciones de clima tropical para abreviar las campañas de monitorización sin sacrificar la calidad de los resultados obtenidos, estimando la pérdida de precisión ocasionada por esta economía de recursos e identificando las modalidades de filtrado y procesamiento de datos más favorables para asegurar confiabilidad de los resultados empleando la menor información posible.

3. MÉTODO

Cuando se realizan estudios higrométricos se procura medir en periodos de baja perturbación climática, en espacios idealmente desocupados o en condiciones de ocupación regular y sin eventos excepcionales que puedan afectar la representatividad de los datos. En este caso el universo estadístico para la realización de la investigación fueron los registros de humedad relativa al interior y exterior de una casa que durante todo un año estuvo desocupada. La casa presenta alta diversidad en sus ambientes térmicos: hay habitaciones con alta o baja inercia térmica, una de ellas con ventanales y un marcado efecto invernadero. La casa está ubicada en las cercanías de la ciudad de Medellín, Colombia (Latitud: 6.25, Longitud: -75.55, Altitud 2.600 msnm) y fue monitorizada durante 383 días continuos en la temporada comprendida entre el 12/dic/2016 y el 30/dic/2017. La monitorización se realizó de acuerdo a los parámetros de medición definidos en el estándar ASHRAE-55. Se empleó una frecuencia de 4 registros de humedad por hora, lo que equivale a 96 registros por día, en dos espacios al interior de la casa. Un tercer equipo de medida fue instalado al exterior. Para la recopilación de los registros se emplearon equipos de monitorización marca HOBO (Data Logger U12-012) con una resolución de $\pm 2.5\%$ (ONSET, 2018).

La información recopilada comprende un año completo y contiene abundantes ocasiones de repetición de las humedades relativas típicas de las dos habitaciones así como del exterior. Esta información fue empleada para calcular los parámetros de referencia con que se hicieron las comparaciones de similitud. A continuación, se extrajeron sub-series de las series de referencia empleando tres criterios diferentes para la selección de datos, las cuales progresivamente incluían un mayor número de días. El procesamiento de estas sub-series dio como resultado valores que, para cada una de las modalidades de selección aplicadas, fueron

comparados con los valores obtenidos al procesar la correspondiente serie de referencia. Esto permitió calcular la precisión con que una fracción de los datos es representativa de la totalidad de los datos a pesar de haber requerido tan poca información como fuera posible. El procedimiento de análisis se orientó a identificar el número de días a partir del cual las mediciones adicionales se podrían considerar como excesivas porque los resultados obtenidos son, para efectos prácticos, los mismos que se hubieran obtenido en el caso de procesar la serie completa. Fig.2

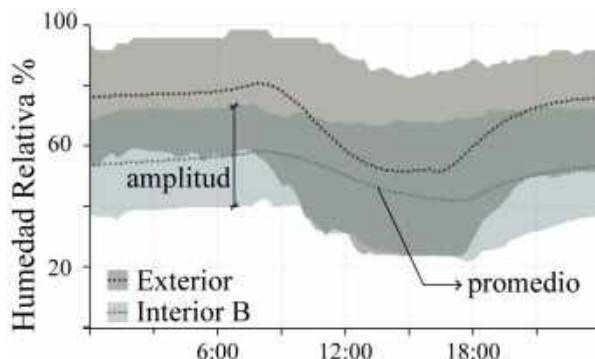


Fig. 2 Humedad relativa al interior y exterior de la casa. Interior B corresponde a la habitación donde se presentaron las mayores variaciones de humedad a lo largo del año.

El trabajo se realizó en tres etapas: Primero se identificó el procedimiento más conveniente para construir una sub-serie de humedad relativa a partir de una serie de referencia. Segundo, se seleccionaron los parámetros higrométricos que serían empleados para cuantificar la diferencia entre sub-series y serie de referencia. Tercero, se identificó la duración máxima recomendable de las campañas de medida, según el procedimiento de selección de datos empleado y para cada uno de los parámetros higrométricos en consideración. De las cifras obtenidas en esta tercera etapa se extrajeron las conclusiones.

3.1. Procedimientos para construir sub-series

Trabajos previos habían permitido observar que 60 días parecen ser suficientes para caracterizar térmicamente un recinto en el contexto climático del trópico andino (SALAZAR, 2018). Por este motivo se construyeron sub-series de humedad relativa con un número de días progresivamente mayor, primero comenzando en 1 día y terminando en 280 y luego abreviando a 60 porque efectivamente no era necesario construir series tan largas. Se pueden construir sub-series de datos de múltiples formas y se suponía que la modalidad con que se seleccionan los datos podría tener alguna incidencia sobre los resultados obtenidos. Para saberlo, se exploraron tres modalidades de selección de datos: secuencial, ordinal y aleatoria. Fig 3.

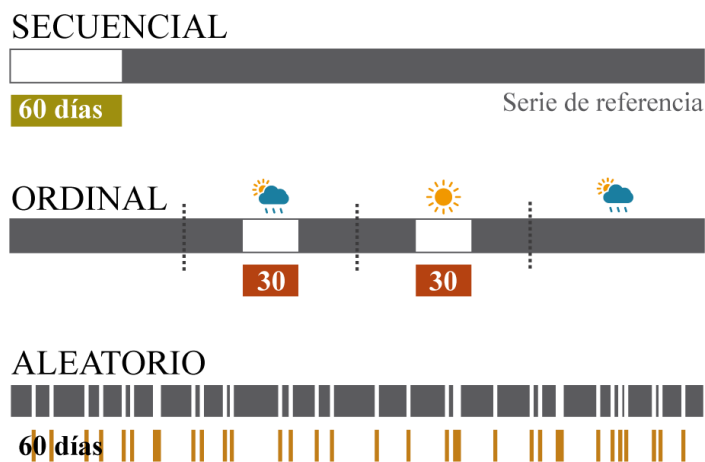


Fig. 3 Modalidades para construir sub-series a partir de una serie de referencia.

Selección secuencial: En esta modalidad de selección de datos se procesaron los registros de humedad relativa día a día, en el mismo orden en que se tomaron las muestras. Esta modalidad corresponde a iniciar

una campaña de medida en cualquier momento del año, para luego suspenderla una vez ha transcurrido un determinado número de días. Para determinar qué tanto influye la fecha de inicio sobre la cantidad de días que sería recomendable medir, se hicieron diez pruebas con fechas de inicio aleatorias. En todos los casos siempre se procesaron hasta 280 días consecutivos contados a partir de la fecha inicio.

Selección ordinal: Primero se ordenaron los registros de humedad relativa diaria en función del valor máximo. Este pre-proceso permitió identificar los periodos en que se presentaron días cálidos/soleados y días fríos/nublados. A continuación, se eligieron dos fechas de inicio; una para el período cálido y otro para el periodo frío. Por último, se seleccionaron alternadamente y de forma secuencial parejas de días a partir de estas dos fechas de inicio en que se presentaron condiciones climáticamente contrarias. Esta modalidad se corresponde con la metodología de medir únicamente en dos temporadas del año y durante un número limitado de días.

Selección aleatoria: Se tomaron valores de humedad relativa de días completos provenientes de la serie de referencia mediante una modalidad de selección aleatoria. En esta tercera modalidad es preciso contar con registros durante un tiempo prolongado, por lo que no habrá una economía de esfuerzos durante el trabajo de campo. Sin embargo, es una modalidad favorable para re-utilizar datos de mediciones realizadas con anterioridad y que ofrece una importante economía de esfuerzos durante la fase de procesamiento porque evita procesar todos los datos.

3.2. Parámetros higrométricos para medir la diferencia entre sub-serie y serie de referencia

Para expresar porcentualmente la diferencia entre una sub-serie y la serie de referencia en una primera etapa se empleó la humedad relativa media diaria como único parámetro de comparación. Para ello se dividieron los valores de humedad relativa media diaria de cada sub-serie por la media diaria de la serie de referencia. Una vez las modalidades de selección de datos fueron perfeccionadas, se hicieron comparaciones con idéntica metodología empleando otros parámetros. Para cada una de las tres modalidades de selección de datos se calcularon: el coeficiente de correlación de Pearson, la humedad relativa máxima diaria y la mínima diaria. En todos los casos se comparó la similitud entre los parámetros higrométricos que se obtienen al agregar más días a la sub-serie con una asíntota horizontal de valor 1 y que corresponde al parámetro de referencia.

Coefficiente de Correlación de Pearson: La correlación estadística es una medida lineal entre dos variables cuantitativas que es independiente de la escala de medida de cada una de las variables. Su cálculo exige tener dos series de datos de igual longitud, por lo que la serie de referencia se procesó para promediar, hora a hora, todos los valores de humedad relativa. La serie resultante tiene 96 datos que conforman un "día promedio". La segunda serie para el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson también tiene 96 datos pero con excepción de la primera ronda incluye siempre más de un día: para el día 1 se emplearon los valores de humedad relativa correspondientes a ese primer día y a continuación los 96 resultados de promediar los valores horarios de un número creciente de días.

Humedades relativa máxima y mínima diaria: El valor máximo para cada día perteneciente a la sub-serie se dividió por el promedio del valor máximo diario de la serie de referencia. Al principio la sub-serie contiene sólo un día y luego un número de días progresivamente mayor. El cociente entre ambas cifras es un índice que tiende a 1 a medida que el valor de la sub-serie se aproxima al de la serie completa. Con idéntico procedimiento, pero empleando el valor mínimo diario, se hizo el cálculo para obtener la humedad relativa mínima.

3.3. Identificación de la duración de las campañas de medida

Las comparaciones entre cada uno de los parámetros higrométricos se orientaron a identificar el intervalo óptimo para la duración de las campañas de monitorización. Al principio las sub-series son demasiado cortas y hay poca similitud entre el parámetro de la sub-serie y el parámetro de referencia, lo que gráficamente se visualiza como un distanciamiento entre estos dos valores. A medida que hay una mayor similitud entre sub-serie y serie de referencia esta distancia se hace menor, hasta alcanzar un número de días a partir del cual la sub-serie permitirá obtener parámetros higrométricos semejantes al parámetro de referencia. A partir de este punto los parámetros convergen hacia el valor de referencia hasta que alcanzan el umbral de medida, momento en que la separación entre línea ondulante y recta de referencia se hace igual a la resolución del equipo empleado para hacer la medición del fenómeno. A partir de este punto no habría beneficio por aumentar el tamaño de la sub-serie. Fig 4. Por ejemplo, al medir una humedad relativa media de 50% con un sensor que tiene una resolución de $\pm 2.5\%$ será posible reconocer variaciones hasta de 0.05 o lo que es lo

mismo, un valor de similitud de 0.95. Si se aplica una metodología similar en un lugar con una variabilidad climática diferente o con equipos de medida de otro productor, bastará recalcular este umbral.

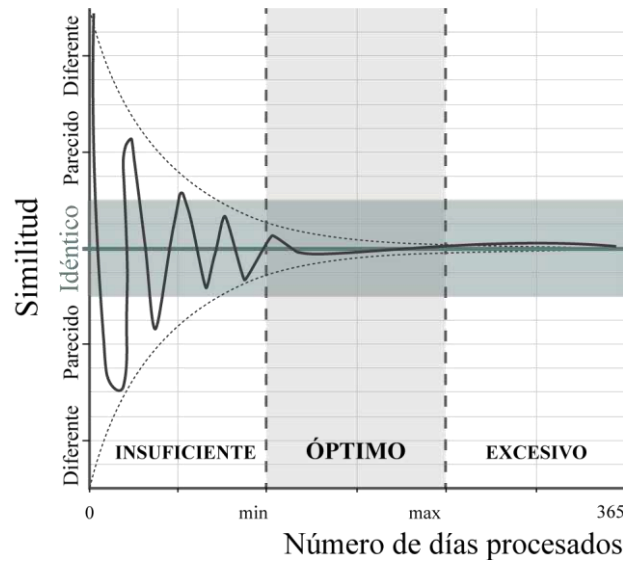


Fig. 4 Número de días que delimitan el intervalo de duración óptimo para realizar una monitorización de humedad relativa. Inicialmente se obtienen parámetros higrométricos poco representativos, pero superado cierto número de días, se comienzan a obtener prácticamente los mismos resultados que se obtendrían de procesar un año completo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Procedimientos para construir sub-series

Selección secuencial: Para comparar el efecto de las tres modalidades de selección de datos sobre el tamaño apropiado de las sub-series se trabajó inicialmente con la serie de humedad relativa exterior. En el caso de la selección secuencial se construyeron 10 sub-series con fechas de inicio diferentes elegidas aleatoriamente, para determinar si la fecha de inicio tiene alguna incidencia sobre los resultados obtenidos. Se pudo observar que si la fecha de inicio de la sub-serie coincide con un periodo caluroso, los valores de similitud comenzarán estando por debajo de 1.0 porque la humedad relativa media diaria de la sub-serie es inferior a la humedad relativa media anual. Por el contrario, si la fecha de inicio de una sub-serie coincide con un periodo de bajas temperaturas, los valores iniciales comenzarán superando el valor anual. Sin embargo, sin importar la fecha de inicio, pasados 40 días el margen de variabilidad será de ± 0.1 y cuando las sub-series alcanzan una longitud de 80 días, la variabilidad se estabiliza en un valor cercano a ± 0.05 , valor que para la humedad relativa media de la localidad estudiada equivale a una diferencia de 2.5% entre la media de la sub-serie y la media de la serie de referencia. Fig 5.

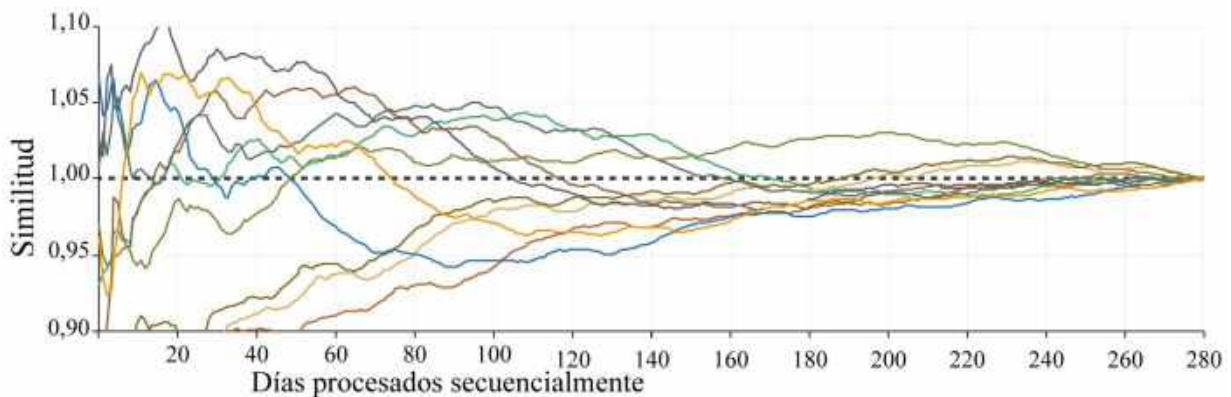


Fig. 5 Selección secuencial. Similitud de la humedad relativa media diaria exterior de la serie de referencia con el mismo parámetro higrométrico calculado en sub-series de 1 a 280 días de duración. Resultados para 10 fechas de inicio diferentes.

Selección ordinal: En esta modalidad de selección de datos se procesaron parejas de días: un día de la temporada calurosa y otro de la temporada contraria. Para la humedad relativa media anual registrada al

interior (65% y 51%) una variación en la similitud de ± 0.05 equivale a una diferencia entre 3.3% y 2.5% con respecto a la humedad relativa de referencia y se alcanza con sub-series que incluyan al menos 54 días en el caso de la habitación A y de 34 días en el caso de la humedad relativa exterior. En el caso de la habitación B fueron necesarios 60 días para alcanzar el umbral de diferencia de 5% porque el efecto invernadero que se presenta en este espacio modifica con mayor intensidad el comportamiento higrotérmico y esta modalidad de selección de datos opera precisamente con datos extremos. Fig. 6 izquierda.

Selección aleatoria: Si las sub-series se construyen con datos seleccionados de forma aleatoria las alternancias de periodos de días fríos y días cálidos deja de tener efecto sobre la humedad relativa media calculada. Con esta modalidad de selección de datos el recinto con efecto invernadero no presentó variación apreciable en el número de días requerido para alcanzar valores de similitud de 0.95 y el tamaño óptimo de la sub-serie sería de apenas 8 días. Fig. 6 derecha.

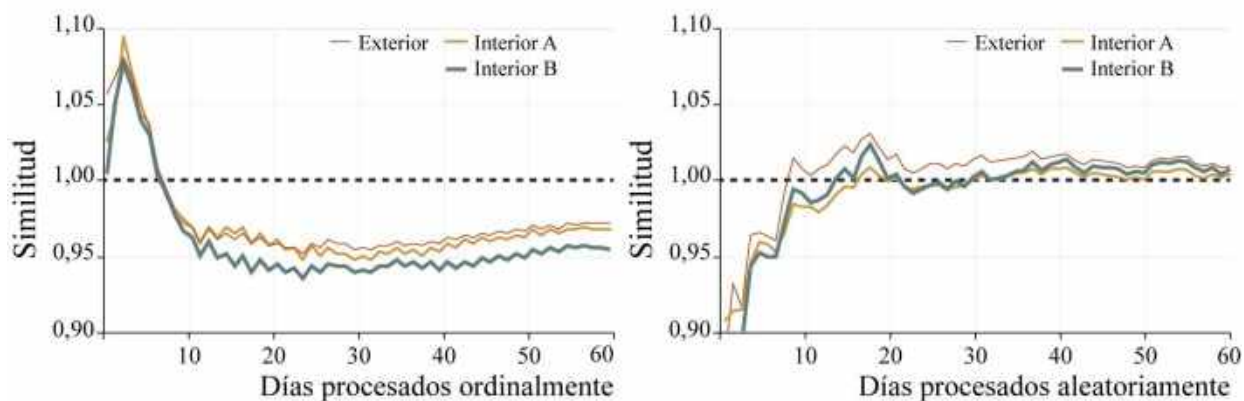


Fig. 6 IZQUIERDA: Selección ordinal. Similitud de la humedad relativa media diaria exterior y la humedad relativa media en dos habitaciones con la humedad relativa de referencia cuando se emplean sub-series de 1 a 60 días de duración. La línea punteada corresponde a la media diaria de las series de referencia. DERECHA: Resultados cuando la selección de sub-series se hace aleatoriamente.

4.2. Parámetros higrométricos para medir la diferencia entre sub-serie y serie de referencia

Coefficiente de Correlación de Pearson: Los resultados indican que una sub-serie de 4 días es suficiente para alcanzar una alta correlación estadística con la serie de referencia, siempre y cuando la selección de los días haya sido hecha de forma aleatoria o secuencial. Si la selección se hace de manera ordinal serán necesarios al menos 10 días. En el caso de espacios interiores con un comportamiento higrométrico afectado por la presencia de radiación solar directa, se requerirá entre 6 y 18 días para que la sub-serie permita obtener parámetros representativos, de acuerdo al método de selección empleado. Fig 7.

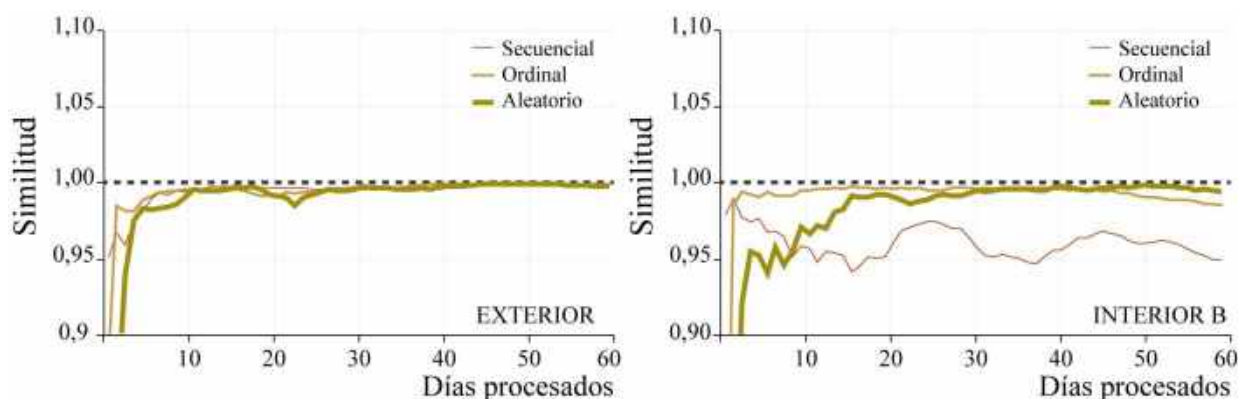


Fig. 7 Correlación estadística entre los valores obtenidos de las sub-series y la serie de referencia a medida que las sub-series contienen un mayor número de días. Se comparan las tres maneras de construir las sub-series. IZQUIERDA resultados para la serie de humedad relativa exterior. Derecha: Resultados para la habitación con presencia de radiación solar directa.

Humedad relativa máxima media y mínima media: Los resultados permitieron observar que los valores de humedad relativa máxima media se pueden predecir con sub-serie entre 6 y 10 días de longitud. Es una cifra muy baja porque en el sitio en estudio los amaneceres son muy semejantes entre sí. No es el caso de la humedad relativa mínima media, donde será necesario reunir hasta 30 días seleccionados

aleatoriamente ó 48 días seleccionados ordinalmente para lograr una diferencia menor del 0.05 con respecto al parámetro de referencia. Fig. 8.

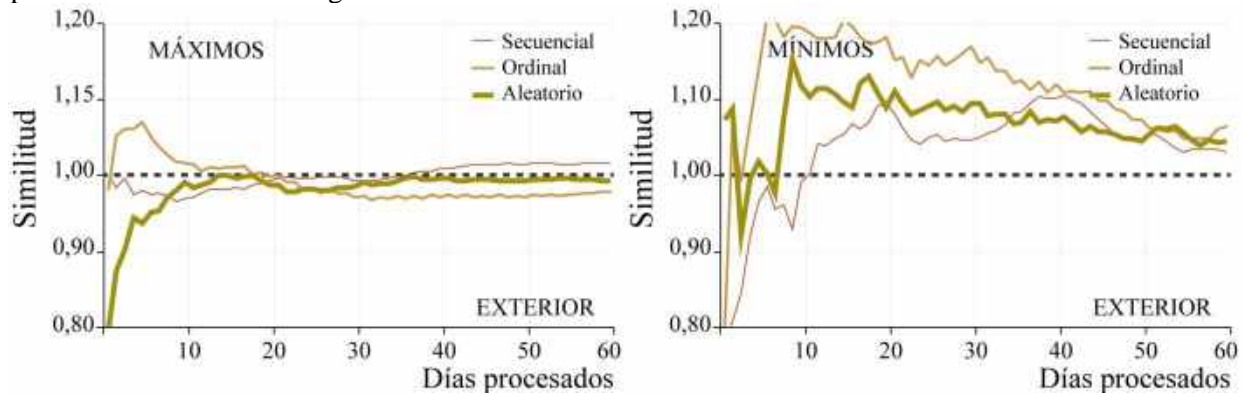


Fig. 8: Resultados obtenidos con las temperaturas máximas y mínimas empleando la serie de humedad relativa exterior.

4.3. Identificación de la duración de las campañas de medida

Evaluadas las tres modalidades de construcción de sub-series (secuencial, ordinal y aleatoria) fue posible corroborar que el tamaño óptimo de las sub-series varía notablemente según la modalidad de selección de datos empleada. En el extremo izquierdo de las gráficas se observa siempre un intervalo inicial con significativas desviaciones con respecto al valor de referencia, luego se presenta una rápida atenuación de este efecto una vez las sub-series incluyen un mínimo de días. El intervalo siguiente es fácilmente reconocible, porque las desviaciones iniciales desaparecen y se establece un patrón de ondulación que tiende al valor de referencia. Para cada parámetro higrométrico se identificó el número de días requerido para alcanzar el umbral de 5% equivalente a la resolución del equipo de medida. Tabla 1.

Tabla 1. Número de días requeridos para alcanzar valores de semejanza entre 0.95 y 1.05 para cada modalidad de selección de datos y cada parámetro analizado. La última línea corresponde al valor máximo de cada columna, cifras útiles para definir la duración óptima de una campaña de monitorización de forma que los parámetros higrométricos que se obtengan sean representativos del desempeño anual.

	SECUENCIAL	ORDINAL	ALEATORIO
Media diaria	35	56	8
Correlación ext	4	10	4
Correlación ext	18	6	8
Máxima media	10	6	8
Mínima media	44	48	30
Óptimos	44	56	30

Comparando los datos presentados, se observa que en ningún caso y para ningún parámetro higrométrico es de utilidad hacer monitorizaciones durante más de 56 días y que para algunos parámetros higrométricos la simplificación del trabajo de campo es significativa. Por ejemplo, con un proceso de selección aleatorio bastarán 4 días para obtener un valor de humedad relativa media diaria representativo y por encima de 8 días no habría diferencia apreciable en comparación con los resultados que se obtendrían de procesar la serie de un año completo, con la excepción de los valores de humedad relativa mínima diaria, parámetro para el cual será necesario contar con 30 días de mediciones.

Si no se cuenta con una base de datos muy extensa y es necesario programar una medición secuencial de humedad relativa que inicie en una fecha cualquiera, bastarán 35 días de medición para obtener datos suficientemente fiables de la humedad relativa media diaria en comparación con los resultados de todo un año. Seleccionar 28 días de la temporada soleada y otros 28 de la temporada lluviosa (56 días en selección ordinal) daría el mismo nivel de fiabilidad. Si la selección se hace de manera aleatoria bastarán 8 días.

Es notorio que para los valores calculados la modalidad más conveniente para la creación de sub-series es la aleatoria y que bastan muy pocos días (entre 4 y 30) para tener información significativa acerca del desempeño anual de un recinto. Estas cifras son menores en el caso de la humedad relativa exterior o si interesa estudiar un espacio con elevada masa térmica, poca ganancia solar y ausencia de efecto invernadero

porque en estos casos la variabilidad térmica será notoriamente menor. Es importante tener en consideración que las conclusiones que se deriven de la medición podrían tener un margen de error mayor dependiendo de la manera en que se usen los espacios interiores, en especial si hay procesos de cocción, jardines interiores con riego frecuente o un horario de apertura/cierre de ventanas irregular y marcadamente diferenciado.

También se observa que empleando la modalidad de selección ordinal en espacios interiores con alta variabilidad térmica una serie de 60 días podrá resultar insuficiente, como es el caso de la media diaria (mínimo 55 días). Con respecto a la correlación estadística la modalidad ordinal no resulta muy conveniente porque requiere casi el doble de datos (10 días continuos de medición) en comparación con las modalidades secuencial y aleatoria, que permiten abreviar las campañas de monitorización de manera significativa. Para obtener resultados similares bastaría hacer registros en dos temporadas contrarias durante apenas 4 días, siempre y cuando se hayan hecho análisis previos del clima del lugar para que los registros de humedad relativa se hagan en la mitad de las temporadas seca y lluviosa, evitando los periodos transicionales. Esto hace evidente la conveniencia de realizar futuras investigaciones con una robustez estadística mayor que empleen por ejemplo metodologías de re-muestreo tipo “bootstrap”, lo que permitiría calcular los intervalos de confianza y las variaciones en el valor mínimo de medición cuando se emplean registros de humedad relativa en temporadas intermedias o más especialmente, cuando no se conoce el clima de un lugar.

Con respecto a la humedad relativa máxima media pasa lo contrario: la favorabilidad de una modalidad alternativa a medir 6 días ordinalmente no es muy grande porque esto hará necesario programar dos campañas de medida de 3 días cada una, cuando 10 días secuenciales darían el mismo resultado. Por su parte, la modalidad aleatoria presenta aquí un escaso margen de ventaja de dos días con respecto a una monitorización secuencial. Sin embargo, con la humedad relativa mínima media pasa lo opuesto: en este caso la mejor modalidad es la aleatoria. Bastan 8 días para obtener un valor de humedad relativa mínima media sin diferencia apreciable con los resultados que se obtendrían si se procesa la serie de humedad relativa de un año completo.

5. CONCLUSIONES

Cuando se programen estudios higrométricos con sólo una campaña de medición, bastará registrar humedad relativa durante 44 días consecutivos. La información recolectada será suficiente para obtener parámetros higrométricos representativos del comportamiento anual. Prolongar las campañas de medida más de 60 días no ofrecerá beneficio alguno y sólo tendría sentido si interesa registrar eventos singulares como la humedad relativa mínima y máxima absoluta.

Si es posible realizar dos campañas de monitorización de igual duración, pero en temporadas climáticamente contrarias, será suficiente tener entre 3 y 27 días de medición por temporada, dependiendo del parámetro de interés, para lograr resultados semejantes. En el caso de que ya se disponga de una medición anual completa, no será necesario procesar todos los datos: bastará con seleccionar una muestra aleatoria de 30 días para obtener de allí parámetros higrométricos representativos del comportamiento anual.

Hacer una separación entre temporadas frías y temporadas cálidas para hacer un procesamiento ordinal de los datos no ofrecerá ventaja alguna, pues se requerirá 56 días y a pesar de ello se presentarán ligeras variaciones con respecto a los parámetros de referencia si hay espacios interiores con un efecto invernadero que los haga muy dependientes de la presencia o no de radiación solar directa.

En localidades cercanas a la línea del Ecuador, con clima tropical y una limitada variación entre las estaciones de lluvias y estaciones más secas, donde la humedad relativa promedio se mantiene casi constante durante todo el año, es posible emplear una base de datos de referencia corta. Para estudios higrométricos en zonas templadas y con una marcada variación estacional esta técnica podría también ser de utilidad, aunque es probable que se requieran más días de medición. Para saberlo se podrían emplear los registros de trabajos previos y aplicar la técnica aquí descrita antes de hacer el diseño metodológico y programar el trabajo de campo. Importantes ahorros de tiempo y esfuerzo se podrán derivar de establecer anticipadamente el número de días óptimo para realizar campañas de monitorización, aunque en estos casos será necesario considerar las particularidades del contexto (presencia de masas de agua o bosques en las proximidades del sitio anteriormente medido), así como las temporadas climáticas en que dichas mediciones fueron realizadas para no llegar a conclusiones erróneas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE Standard 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy**, ASHRAE Inc., 1992, Atlanta.
- CANTÓN, M. A., GANEM, C., BAREA, G., & LLANO, J. F. 2014. **Courtyards as a passive strategy in semi dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building**. *Renewable Energy*, 437. doi: dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.065
- FILIPPÍN, CELINA, AND SILVANA FLORES LARSEN. 2012. **Historical Consumption of Heating Natural Gas and Thermal Monitoring of a Multifamily High-Rise Building in a Temperate/Cold Climate in Argentina**. *Buildings*, Vol 2, Iss 4, Pp 477-496, no. 4: 477. doi:10.3390/buildings2040477.
- GIANCOLA, E., SOUTULLO, S., OLMEDO, R., & HERAS, M. R. 2014. **Evaluating rehabilitation of the social housing envelope: Experimental assessment of thermal indoor improvements during actual operating conditions in dry hot climate, a case study**. *Energy & Buildings*, 264. doi:10.1016/j.enbuild.2014.02.010.
- GUO, ZHIMING, TSUYOSHI SETOGUCHI, NORIHIRO WATANABE AND KE HUO. 2017 **Optimization Design of Open Space Based on Microclimate and Behavior in China**. *Journal of Civil Engineering and Architecture* 11 617-634. doi: 10.17265/1934-7359/2017.07.001
- HUANG, C., ZOU, Z., LI, M., WANG, X., LI, W., HUANG, W., XIAO, X. (2007). **Measurements of indoor thermal environment and energy analysis in a large space building in typical seasons**. *Building and Environment*, Volume 42, Issue 5, pp. 1869- 1877. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.016>.
- IP, KENNETH, & MILLER, A. 2009. **Thermal behaviour of an earth-sheltered autonomous building - The Brighton Earthship**. *Renewable Energy -Pergamon-*, (9), 2037. doi:10.1016/j.renene.2009.02.006
- ISO/TR 17772-2:2018 **Energy performance of buildings -- Overall energy performance assessment procedures -- Part 2: Guideline for using indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings**. www.iso.org
- KRUGER, E., & GIVONI, B. (2008). **Thermal monitoring and indoor temperature predictions in a passive solar building in an arid environment**. *Building and Environment*, Volume 43, (11), pp. 1792 - 1804. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.019>
- LIU, HAIQIANG AND SHOICHI KOJIMA. 2017. **Energy Consumption and Thermal Performance in Different Residential Building Types in Hot-Summer and Cold-Winter Zone**. *Journal of Civil Engineering and Architecture* 11 240-248. doi: 10.17265/1934-7359/2017.03.004
- MADGETECH INC. **Technical Documentation. Application Notes**. Accessed October 21 2018. <http://international.madgetech.com/data-loggers/temperature.html>
- MEASUREMENT COMPUTING CORPORATION. 2012. **Data Acquisition Handbook**. Third Edition. Norton, MA. United States of America.
- OMEGA ENGINEERING, INC. 2016. **Introduction to Temperature Data Logging**. Accessed October 21, 2008. <http://www.omega.com/technical-learning>
- ONSET COMPUTER CORPORATION. Accessed October 23 2018. www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012
- SADAFI, N., SALLEH, E., HAW, L. C., & JAAFAR, Z. 2011. **Evaluating thermal effects of internal courtyard in a tropical terrace house by computational simulation**. *Energy and Buildings -Pergamon-*, (4), 887. doi:10.1016/j.enbuild.2010.12.009
- SALAZAR, JORGE Y VALENTINA ZULUAGA. **Caracterización térmica de edificaciones**. V Congreso Internacional Medio Ambiente Construido y Desarrollo. MACDES 2018, Habana, Cuba, 2018, pp 400-407.
- SINGH, M. K., ATTIA, S., MAHAPATRA, S., & TELLER, J. 2016. **Assessment of thermal comfort in existing pre-1945 residential building stock**. *Energy*, 122. doi:10.1016/j.energy.2016.01.030.
- STETZ, MARK. 2017. **The Energy Professional's Guide to Data Loggers & Building Performance**. Bourne, MA: Onset Computer Corporation.
- VARAS-MURIEL, M. J., FORT, R., MARTÍNEZ-GARRIDO, M. I., ZORNOZA-INDART, A., & LÓPEZ-A. P. (2014). **Fluctuations in the indoor environment in Spanish rural churches and their effects on heritage conservation: Hygro-thermal and CO2 conditions monitoring**. *Building and Environment*, Volume 82, pp. 97-109. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.010>.
- WANG, Y., GAO, J., XING, X., LIU, Y., & MENG, X. (2016). **Measurement and evaluation of indoor thermal environment in a naturally ventilated industrial building with high temperature heat sources**. *Building And Environment*, Volume 96, 35, pp 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.014>.
- ZINZI, M., CARNIELO, E., & MATTONI, B. 2018. **On the relation between urban climate and energy performance of buildings. A three-years experience in Rome, Italy**. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.192>