

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN DE KRIGING A DATOS METEOROLÓGICOS PARA SU EMPLEO EN SIMULACIONES TÉRMICAS DE EDIFICIOS EMPLEANDO TRNSYS

MÍGUEZ TABARÉS, José Luis⁽¹⁾; ALONSO RODRÍGUEZ, José M^a ⁽¹⁾; EGUÍA OLLER, Pablo ⁽¹⁾

SAAVEDRA GONZÁLEZ, ÁNGELES ⁽²⁾; MORÁN GONZÁLEZ, Jorge C. ⁽¹⁾

jmiguez@uvigo.es

(1)Universidad de Vigo, Escuela de Ingeniería Industrial, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos.

(2)Universidad de Vigo, E.T.S. Ingeniería de Minas, Departamento de Estadística e Investigación Operativa.

RESUMEN

Las simulaciones térmicas transitorias son uno de los métodos más empleados para predecir y mejorar la eficiencia térmica de los edificios y sus instalaciones. Un factor esencial en el correcto resultado de dichas simulaciones es el tiempo atmosférico, que representa las condiciones del entorno a las que se ve sometido el edificio.

El presente artículo estudia los diferentes errores cometidos en las simulaciones debidos a no disponer de datos atmosféricos reales en la localización exacta del edificio. Para ello se procede a simular el edificio de la biblioteca de Ciencias del Mar, situado en el campus de Lagoas-Marcosende (Vigo) de la Universidad de Vigo, con el software de TRNSYS (TRaNsient SYstems Simulation program)[2].

Se realizarán diferentes interpolaciones mediante técnicas de kriging [1] (kriging simple, kriging ordinario, kriging universal, kriging de regresión, cokriging,...), y se compararán estos datos con los de la estación meteorológica del campus de Lagoas-Marcosende. También se compararán los resultados de las diferentes simulaciones térmicas ejecutadas con todos los archivos meteorológicos generados con las interpolaciones.

Los resultados muestran que con los datos interpolados, se puede aumentar la exactitud de los resultados de las simulaciones térmicas.

Palabras clave: Kriging, datos meteorológicos, simulación térmica.

1. Introducción

La forma más exacta de conocer el comportamiento térmico real de un edificio antes de construirlo o rehabilitarlo energéticamente es mediante una simulación térmica transitoria. Esta simulación permite conocer el comportamiento hora a hora de un edificio a lo largo de todo el año, teniendo en cuenta tanto parámetros exteriores (tiempo atmosférico, sombras, etc.), como los parámetros internos del edificio (envolvente, sistemas térmicos, instalaciones, uso, horarios de funcionamiento, etc.).

Dichas simulaciones necesitan de un modelo edificatorio, una realidad de uso de los mismos y de las condiciones exteriores a las que está sometido (datos meteorológicos de la localización). En el caso de que se quiera comparar los resultados de la simulación con los reales, no sólo hace falta el tiempo meteorológico medio, si no el real durante esos periodos de consumos. También la eficiencia de ciertos tipos de instalaciones (captadores solares térmicos, paneles fotovoltaicos, aerogeneradores,...) no pueden ser simulados si no se tienen datos meteorológicos reales. Una solución sería disponer de los datos de la estación meteorológica más cercana, pero esto no siempre es una solución posible:

- En muchos casos no existen estaciones meteorológicas en el emplazamiento del edificio o cercanas.
- A veces estos datos hay que completarlos puesto que hay periodos sin datos en los registros.
- Hay estaciones meteorológicas en las que no se dispone de todos los tipos de datos. Por ejemplo, la radiación es un parámetro difícil de medir, y no existe este dato en la mayoría de estaciones meteorológicas tanto de MeteoGalicia como de AEMET (Asociación Española de Meteorología).

Todo esto hace que sea necesario poder contar con un método que nos permita estimar las condiciones meteorológicas reales del emplazamiento exacto de un edificio.

En este trabajo se emplean métodos de interpolación basadas en técnicas de Kriging a partir de los datos de las 150 estaciones de MeteoGalicia y de AEMET en Galicia para comparar los resultados de las simulaciones con los que se obtendrían simulando con los datos meteorológicos reales del emplazamiento del edificio a estudiar.

Los resultados muestran que estas técnicas son apropiadas para las simulaciones térmicas, siendo el Universal Kriging (UK) con 4 predictores (longitud, latitud, altura y distancia a la costa) el que menor error presenta.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente artículo es explorar el aumento de la fiabilidad y precisión de las simulaciones térmicas mediante la interpolación avanzada, de datos meteorológicos en ubicaciones donde no existe estación meteorológica.

Se analizará qué métodos de interpolación son más adecuados y se compararán los seleccionados con los datos reales de la estación meteorológica más cercana a la ubicación de la biblioteca de ciencias que la Universidad de Vigo posee en el campus As Lagoas-Marcosende (Vigo), edificio seleccionado para realizar las simulaciones térmicas.

Se comprobará así mismo, cómo el error inicial en los datos meteorológicos se propaga a las simulaciones térmicas, analizando los resultados en demandas de calefacción y refrigeración del edificio simulado térmicamente.

3. Método de trabajo

Se tomarán los datos disponibles: temperatura ambiente (T), humedad relativa (HR), presión (P), velocidad del viento (VV), dirección del viento (DV) y radiación global (RG), de todas las estaciones de Meteogalicia y con ellos se realizará la interpolación mediante técnicas de kriging.

Estos datos interpolados se compararán con los de la estación meteorológica situada en el propio campus y con los de la estación meteorológica más cercana, estación meteorológica del aeropuerto de Peinador (Vigo), perteneciente a la red AEMET, situada a 7.5 km del campus en línea recta. También se generarán archivos meteorológicos para el 2014 con cada tipo de interpolación en formato epw (EnergyPlus weather).

Se calcularán y analizarán diferentes tipos de errores cometidos: error medio (MBE), error absoluto medio (MAE), error cuadrático medio (RMSE), y el error cuadrático medio ponderado (CV(RMSE)) de los distintos tipos de interpolaciones mediante técnicas de kriging realizadas.

Por otro lado se modelará térmicamente el edificio de la biblioteca de ciencias que la Universidad de Vigo posee en el campus As Lagoas-Marcosende (Vigo), y se simulará térmicamente con los diferentes archivos meteorológicos generados.

De las simulaciones térmicas se obtienen las demandas de calefacción y refrigeración, con los archivos meteorológicos obtenidos mediante distintas interpolaciones y la estación meteorológica más cercana (aeropuerto de Peinador) y con los obtenidos a partir de los datos meteorológicos reales, para analizar cómo se propaga el error de los datos meteorológicos a la simulación térmica del edificio.

3.1. Obtención de datos meteorológicos

Se comenzará en este punto por la descripción de las estaciones meteorológicas de las que se dispone de datos y posteriormente se describirá someramente el proceso de interpolación avanzada de los datos de estas estaciones meteorológicas mediante técnicas de kriging.

Estaciones meteorológicas

Meteogalicia dispone de 151 estaciones, repartidas por toda la geografía de Galicia. La mayoría de estas estaciones proporcionan datos diez minutales de temperatura ambiente, humedad relativa, presión, velocidad y dirección del viento y radiación global. La figura 1 representa la distribución de dichas estaciones meteorológicas de Meteogalicia.

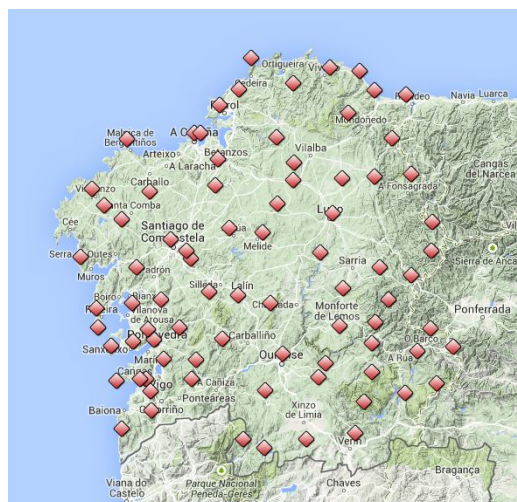


Figura 1: Distribución espacial de la red de estaciones meteorológicas de Meteogalicia.

Se obtienen los datos diez minutales de las 151 estaciones y se calcula su media horaria. A continuación se realiza la interpolación empleando Ordinary Kriging (OK), Universal Kriging con 3 predictores (longitud, longitud y altitud) denominado UK_lla, Universal Kriging con 4 predictores (longitud, longitud, altitud y distancia a la costa) denominado UK_llad. Con dicha interpolación se elaboran los datos meteorológicos del campus de Lagoas-Marconsende de la Universidad de Vigo.

Por otro lado, se obtienen los datos meteorológicos de la estación más cercana (aeropuerto de Peinador) de la red de estaciones AEMET. Peinador se encuentra a 7.5 km en línea recta del campus y a una altura de 241m sobre el nivel del mar.

Y por último, se importan los datos de la estación que Meteogalicia posee en el campus universitario, ubicado a unos 452m de altura sobre el nivel del mar, a 250m de la ubicación de la biblioteca de ciencias.

Una vez obtenidos los diferentes datos meteorológicos y para todo el 2014, se genera un archivo csv con 8760 filas, de 6 columnas, con los datos interpolados, y mediante la aplicación de EnergyPlus para la generación de archivos meteorológicos, se generan 5 archivos en formato epw con los datos de 2014 para la ubicación del edificio (datos_reales.epw, OK.epw, UK_lla.epw, UK_llad.epw y peinador.epw)

Kriging

La técnica kriging de interpolación puede ser entendida como una predicción lineal o una forma de inferencia bayesiana. Parte del principio de que puntos próximos en el espacio tienden a tener valores más parecidos que los puntos más distantes. La técnica de kriging asume que los datos recogidos de una determinada población se encuentran correlacionados en el espacio.

El kriging es lineal porque sus estimaciones son combinaciones lineales ponderadas de los datos existentes; y es insesgado porque procura que la media de los errores (desviaciones entre el valor real y el valor estimado) sea nula; es el mejor (óptimo) porque los errores de estimación tienen una variancia (variancia de estimación) mínima.

El término kriging abarca una serie de métodos, de entre ellos, en este estudio se evaluarán dos de ellos, el ordinary kriging (OK) y el universal kriging (UK), este último en dos vertientes, con 3 predictores (latitud, longitud y altitud) y con 4 predictores (latitud, longitud, altitud y distancia al mar).

3.2. Cálculo de los errores cometidos

Se calculan los errores, error medio (MBE), error absoluto medio (MAE), error cuadrático medio (RMSE), y el error cuadrático medio ponderado (CV(RMSE)). Las ecuaciones de la figura 2 muestran cómo se calculan dichas medidas de error:

$$MBE = \sum_{i=1}^n \frac{T_{sim} - T_{real}}{n}$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n \frac{|T_{sim} - T_{real}|}{n}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{sim} - T_{real})^2}{n}}$$

$$CV(RMSE) = \frac{RMSE}{\bar{T}_{real}}$$

Figura 2: Fórmulas que determinan los diferentes tipos de errores a estudiar.

Donde T_{sim} representa la temperatura horaria simulada y T_{real} la temperatura horaria registrada. El índice $n = 8.760$ (horas existentes en un año).

3.3. Descripción del edificio a simular térmicamente

El edificio objeto de este estudio, en el que se realizarán las simulaciones térmicas, es la biblioteca de la facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Vigo, ubicado en el campus universitario de As Lagoas- Marcosende, en Vigo. El edificio dispone de tres plantas y 980 m² de superficie útil. Está situado a 450m de altitud sobre el nivel del mar.

La instalación de climatización de la biblioteca está compuesta por suelo radiante en cada una de las plantas, siendo el sistema de producción de energía térmica una bomba de calor agua - agua reversible (modelo IZE 185 de CIATESA, con una capacidad nominal en calefacción de 49.1 kW y en refrigeración de 44.7 kW) con captadores geotérmicos.

Los captadores geotérmicos están dispuestos en 6 pozos, distribuidos en dos filas de 3 pozos cada una, y con una separación de 5 metros entre ellos. Los pozos tienen un diámetro de 140mm y 100 m de profundidad y cuentan en su interior con un doble tubo en U de polietileno de 32 mm de diámetro. Se emplea bentonita como material para el relleno de la perforación.

El sistema de climatización funciona tanto en períodos de calefacción como cuando se requiere refrigeración, siendo los momentos en los que se realiza el cambio del modo de funcionamiento el 25 de mayo y el 29 de octubre. Según las características de diseño de los pozos geotérmicos, en modo de calefacción la temperatura del fluido caloportador es de 7 °C a la entrada y de 12 °C a la salida, y en modo refrigeración es de 30 °C a la entrada y 25 °C a la salida de los pozos.

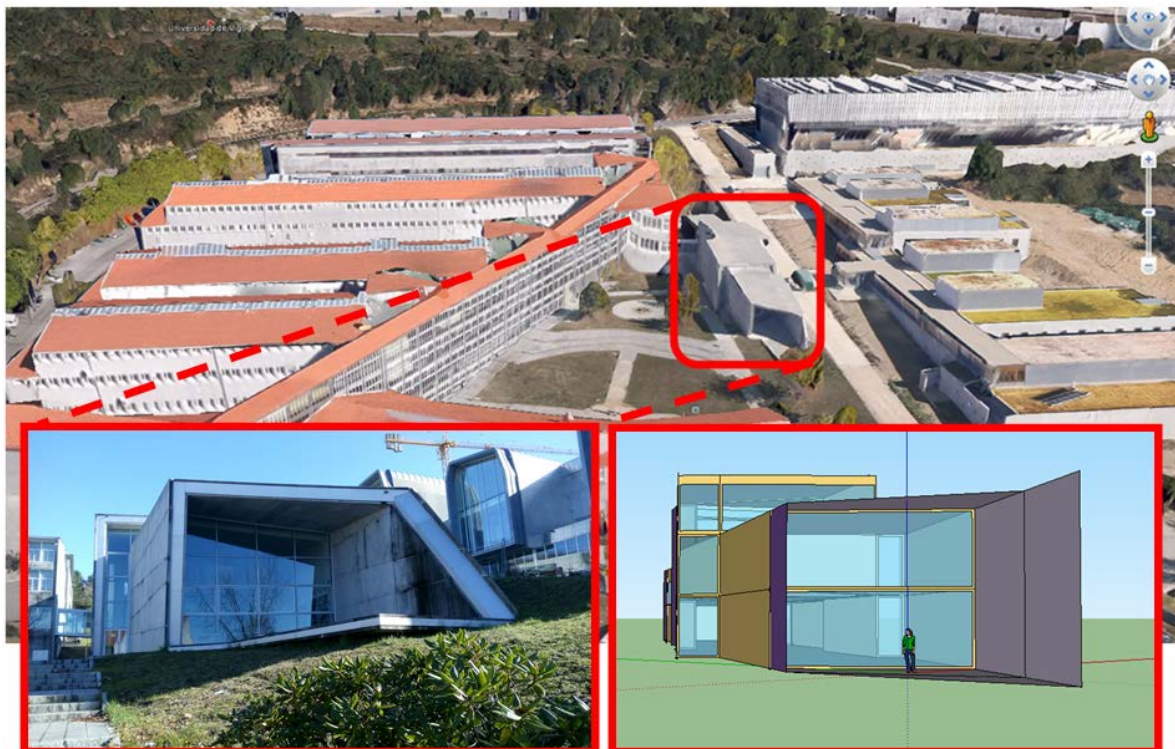


Figura 3: Emplazamiento, fachada, y modelo en sketchup para la simulación térmica de la biblioteca de ciencias.

3.4. Simulación con TRNSYS

El motor de cálculo TRNSYS, acrónimo inglés para TRAnnsient SYstems Simulation Program (Programa de Simulación Dinámica de Sistemas), desarrollado por la Universidad de Wiconsin, Madison, es un software de simulación de sistemas transitorios, formado por componentes o types que modelan el comportamiento de cada parte del sistema y que son interconectados de forma gráfica.

TRNSYS utiliza un modelo basado en funciones de transferencia para la simulación horaria del edificio, teniendo en cuenta tanto parámetros internos (envolvente, sistemas térmicos, instalaciones, uso, horarios de funcionamiento, etc.) como externos (tiempo atmosférico, sombras, etc.).

Los datos meteorológicos utilizados en TRNSYS para realizar las simulaciones térmicas son temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica, dirección del viento y velocidad del viento, utilizadas estas últimas en el cálculo de las infiltraciones de aire en el edificio según el modelo K1, K2, K3 de ASHRAE (acrónimo de American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).

4. Resultados alcanzados

Resultados del proceso de kriging y comparación con la estación de Peinador (261 m de altura) (estación más cercana, perteneciente a la red de AEMET).

Las tablas 1 a 3 representan los errores calculados para las distintas variables meteorológicas comparando los datos de Peinador y los obtenidos mediante Kriging (OK, UK_lla y UK_llad) con la estación real situada en el campus de Lagoas-Marcosende de la Universidad de Vigo, donde se ubica el edificio objeto de estudio (452m de altitud).

Para la Temperatura (T) se observa como el menor error medio cuadrático ponderado (CV(RMSE)) se obtiene con el Universal Kriging con 4 predictores (UK_llad), lo mismo sucede con la Humedad Relativa (HR), como podemos constatar en la Tabla 1.

Tabla 4: Errores en la Temperatura (T) y Humedad Relativa (HR).

	T				HR			
	MBE	MAE	RMSE	CV(RMSE)	MBE	MAE	RMSE	CV(RMSE)
PEINADOR	0.885	1.760	2.113	0.146	5.293	8.898	12.829	0.157
OK	0.881	1.678	1.950	0.135	5.768	7.946	12.242	0.149
UK_llad	-0.601	0.830	1.243	0.096	7.606	8.009	10.508	0.125
UK_lla	-0.631	0.857	1.304	0.101	7.744	8.181	10.873	0.129

En cuanto a la Presión (P), el error cuadrático medio ponderado es muy similar utilizando el Universal Kriging con 3 y 4 predictores (UK_lla y UK_llad). En cuanto a la Radiación Global (R.G.) el menor error cuadrático medio ponderado se obtiene utilizando el Universal Kriging con 3 predictores. Ambos parámetros se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 5: Errores en la Presión (P) y Radiación Global (RG).

	P				R.G.			
	MBE	MAE	RMSE	CV(RMSE)	MBE	MAE	RMSE	CV(RMSE)
PEINADOR	2349.071	2349.071	2350.086	0.024	-8.797	27.065	63.159	0.630
OK	2616.378	2616.451	2641.540	0.027	-14.433	27.981	58.702	0.395
UK_llad	-37.033	42.660	50.150	<u>0.001</u>	-16.351	28.061	59.162	0.403
UK_lla	-40.886	45.512	52.470	<u>0.001</u>	-14.327	26.853	58.410	<u>0.393</u>

En cuanto a la Dirección de Viento (DV) el menor error cuadrático medio ponderado se obtiene mediante Ordinary Kriging (OK) y mediante Universal Kriging con 4 predictores (UK_llad) para la Velocidad del Viento (VV). Ambos efectos se pueden comprobar en la Tabla 3.

Tabla 6: Errores en la Dirección (DV) y Velocidad del Viento (VV).

	D.V.				V.V.			
	MBE	MAE	RMSE	CV(RMSE)	MBE	MAE	RMSE	CV(RMSE)
PEINADOR	-26.718	85.672	120.685	0.642	-0.188	1.472	1.923	0.649
OK	-35.590	67.364	83.529	<u>0.467</u>	-0.451	1.121	1.736	0.645
UK_llad	-41.920	65.162	83.525	0.484	0.455	1.209	1.557	<u>0.433</u>
UK_lla	-39.869	65.310	82.683	0.474	0.358	1.205	1.566	0.447

La tabla 4 muestran los errores cometidos en las demandas de calefacción y refrigeración del edificio simulado con los archivos meteorológicos de Peinador y los 3 tipos de kriging, comparando cada uno de ellos con la simulación utilizando los datos reales de la estación meteorológica del campus universitario.

Tabla 7: Errores en la demanda de calefacción del edificio.

	DEMANDA CALEFACCIÓN			
	MBE	MAE	RMSE	CV(RMSE)
PEINADOR	-3314.60	12271.88	312495407.75	5709.46
OK	8335.81	10754.66	173031856.03	3161.38
UK_llad	-7764.88	8574.17	119602013.84	<u>2185.19</u>
UK_lla	-7919.65	8697.24	119903608.87	2190.70

Tabla 8: Errores en la demanda de refrigeración del edificio.

	DEMANDA REFRIGERACIÓN			
	<i>MBE</i>	<i>MAE</i>	<i>RMSE</i>	<i>CV(RMSE)</i>
<i>PEINADOR</i>	12902.48	30487.29	1906488059.93	33402.02
<i>OK</i>	-3631.72	14048.51	339948329.70	5955.96
<i>UK_Ilad</i>	10493.78	12623.78	294785004.10	5164.69
<i>UK_Ila</i>	11515.15	13087.02	308728274.05	5408.98

5. Conclusiones y consideraciones finales

Se puede concluir que el método de interpolación mediante Kriging, es un buen método para obtener los parámetros más ajustados a la ubicación específica del edificio a simular térmicamente. Tanto a la hora de obtener los datos meteorológicos de la ubicación del edificio, como a la hora de la propagación del error en estos a las simulaciones térmicas.

El emplear la estación meteorológica más cercana en este caso es el peor de los métodos tanto para calefacción como para refrigeración, a pesar de que es una estación que se encuentra solo a 7.5 km en línea recta y 200 m de diferencia de altitud.

De todos los métodos de kriging, el Universal Kriging con 4 predictores (*UK_Ilad*) es con el que se obtiene el menor error cuadrático medio ponderado tanto para calefacción como para refrigeración (existiendo un menor error en caso de la refrigeración).

Hay que resaltar que los errores en los datos de radiación son menores utilizando el Universal Kriging con 3 predictores (*UK_Ila*) y en el caso de la dirección del viento, el menor error se obtiene mediante Ordinary Kriging (*OK*).

6. Agradecimientos

Los autores del presente artículo agradecen la colaboración ofrecida a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y a MeteoGalicia.

7. Referencias

- [1] DIGGLE, Peter; RIBEIRO, Paulo Justiniano. Model-based Geostatistics. 2007. 232 p. (Springer Series in Statistics).
- [2] TRNSYS. TRaNsient SYstems Simulation Program. University of Winsconsin, Madison. <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/> [Consulta: 19 enero 2015].