

Un modelo matemático de variación térmica en el techo de una nave

Carlos Torres¹, Augusto Nieto Castro², Fernando Nieto Castro³, María Yakuk Muñoz⁴, Aníbal Gomez Khairallah⁵, Alejandro Ferreiro⁶ & Noemí Sogari⁷

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
caivto@gmail.com

(2) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
augus_nt@hotmail.com

(3) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
chichonieto_04@hotmail.com

(4) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
mmym7.3710@gmail.com

(5) *Departamento de Mecánica, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
agomez@unse.edu.ar

(5) *Departamento de Mecánica, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).*
ferreiro@unse.com.ar

(6) *Co Directora del Grupo de Energías Renovables (GER), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE).*
noemisogari@gmail.com

RESUMEN: Una línea principal del Protocolo de Kyoto es reducir la demanda de energía en edificios, para disminuir la generación eléctrica y mitigar la emisión de gases nocivos y material particulado. Actualmente, los requerimientos básicos para edificaciones han incorporado el Uso Racional de la Energía. Las naves industriales son edificios con grandes dimensiones, en los que durante las jornadas de temperaturas extremas (invierno o verano), las condiciones de confort suelen ser inapropiadas. Estos edificios en el Norte Argentino, se comportan de modo poco satisfactorio, con condiciones de disconfort psicofísico para sus usuarios que son muy severas en los meses referidos. Se menciona como un problema climático los altos valores de temperatura, que en ciertas jornadas se combinan con elevada humedad, en particular durante el periodo estival que hoy alcanza casi la mitad del año. A partir de esta meta, se plantea como objetivo del trabajo la formulación de un modelo matemático que describa el perfil de temperatura en el interior de un edificio durante una jornada, en función de la temperatura externa y del calor producido dentro de la construcción. Para ello, se considera el techo de un edificio situado en la Ciudad de La Banda (Santiago del Estero).

1 INTRODUCCIÓN

Los egipcios acondicionaban ambientes en el palacio del faraón. Luego, con los conocimientos de Kelvin, Carrier materializó las primeras máquinas de refrigeración al lograr controlar temperatura y humedad en una industria.

Con innovaciones como estas que facilitan la vida humana, se constató la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI), con efectos

nocivos para los seres vivos y el ambiente. Por ello se rubricó el Protocolo de Kyoto, del cual una de sus premisas es atenuar dichas emisiones. Una línea principal del mismo es reducir la demanda de energía (DE) en edificios, para disminuir la generación eléctrica y mitigar la emisión de GEI y material particulado (MP). Actualmente, los requerimientos básicos para edificaciones incorporan el Uso Racional de la Energía (URE), las que debieran proyectarse (Clarke, 2001): a)

reduciendo o eliminando el deterioro ambiental; y b) mejorando su demanda energética.

Un objetivo en una construcción es edificar locales con alta calidad energética a costos aceptables. A este paradigma se agrega la consideración del desarrollo sostenible en consonancia con la reducción del impacto ambiental (IA), y la expansión y disponibilidad de nuevos materiales y sistemas constructivos. Estos factores interactúan imbricando el análisis, que complica determinar soluciones plasmadas en distintas alternativas de diseño, teniendo presente interacciones físicas, cómputos y presupuestos, ventajas en URE e IA.

Las naves industriales son edificios de grandes dimensiones, que en jornadas de temperaturas extremas (invierno o verano), sus condiciones de confort ambiental para quienes trabajan en ellas son inapropiadas. En estas construcciones la energía primordialmente se aplica en operación de equipos, traslado de cosas (y en ciertos casos personas), iluminación, refrigeración, calefacción, impulsión de fluidos,... Considerando la situación climática regional, los espacios interiores de estos edificios en el Norte Argentino, se comportan de modo poco satisfactorio, con condiciones de disconfort psicofísico para sus usuarios que son muy severas en los meses de temperaturas extremas. Se menciona como un problema climático los altos valores de temperatura, que en ciertas jornadas se combinan con elevada humedad, en particular durante el periodo estival que hoy alcanza casi la mitad del año.

Por las características constructivas de las naves industriales, por su habitual gran volumen, resulta técnica y económicamente inapropiado instalar equipos de aire acondicionado para mitigar el disconfort, pues incrementaría la DE, deterioraría su EE con relevante IA. Por tanto, es oportuno analizar alternativas que tiendan a superar las condiciones de disconfort interior.

El presente trabajo está enmarcado en el Proyecto de Investigación “Análisis de la eficiencia térmica en un edificio universitario”, en cuyos objetivos se destaca el estudio y análisis crítico de EE de un edificio particular (Pabellón Electromecánica, Sede Parque Industrial, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías – FCEyT -, Universidad Nacional de Santiago del Estero – UNSE -). El proyecto es dirigido por la Co Directora del Grupo de Energías Renovables (Universidad Nacional del Nordeste – UNNE -). Su objetivo es lograr un diagnóstico preciso de los problemas de comportamiento higrotérmico anual, a la vez de examinar alternativas de mejora para el mismo, que pudieran aplicarse a otras construcciones locales y provinciales. Por cierto, las expectativas buscan alcanzar soluciones que mejoren las

condiciones de confort interno, con restringida aplicación de energías “sucias” y mínima producción de GEI o MP. El edificio citado no presenta problemas de suministro eléctrico (baja tensión, cargas excesivas,...) ni tampoco de iluminación. Los resultados del análisis servirán para proponer mejoras que permitan optimizar el confort térmico, compatibles con un URE.

De mediciones preliminares para la nave citada, se infiere para días cálidos el ingreso por el techo de una importante fracción de calor, que deteriora de modo evidente la comodidad de sus usuarios.

A partir de esta meta, se plantea como objetivo del trabajo la formulación de un modelo matemático que describa el perfil de temperatura en el interior de un edificio durante una jornada, en función de la temperatura externa, del calor producido dentro de la construcción y del generado por aparatos de acondicionamiento ambiental (calefacción o aire acondicionado).

En el trabajo se presenta primero el desarrollo del modelo matemático que describe el problema y su solución. Luego, se valida la ecuación aplicada para modelar la temperatura externa en correlación con valores reales. Después, para aplicar el modelo al techo del edificio en estudio, se determinan sus propiedades. A continuación se muestran resultados para jornadas determinadas, los que se discuten. Finalmente, se formulan conclusiones y esbozan futuras líneas de trabajo.

2 MODELO MATEMÁTICO

Primero se considera el planteo para el caso general del problema y su solución. A tal fin se asume que la división entre los ámbitos interno y externo se materializa en una pared. Posteriormente se expone la formulación para la situación particular considerada.

2.1 *Planteo general*

El análisis se basa en el comportamiento térmico en los lados interno y externo de la pared. Para ello se considera a la temperatura dentro de un edificio, que se designa $T(t)$, como una variable representativa del confort interior en un instante cualquiera t , cuyas modificaciones dependerán del calor producido o disipado internamente. Para el problema en estudio, en el local interior se identifican tres fuentes (o sumideros) principales de calor (Nagle et al., 2010):

- producido por personas, artefactos de iluminación y máquinas, que origina incrementos de temperatura $H(t)$;
- causado por la calefacción (o aire acondicionado), que se concreta en

variaciones de temperatura $U(t)$;

- resultante de la transmisión calórica a través de la pared, consecuencia de la diferencia de las temperaturas exterior e interior y que se estima en base a la Ley de Newton, la cual puede formularse conforme la ecuación (1), en la que $M(t)$ es la temperatura exterior y K es la conductibilidad térmica, constante que depende de las propiedades físicas de la pared.

$$K[M(t)-T(t)] \quad (1)$$

Se destaca que los incrementos térmicos $H(t)$ siempre serán positivos, pues en el local cerrado por la pared se determina que habrá una cierta cantidad de personas, lámparas y máquinas. Por cierto que $H(t) = 0$, cuando no haya personas y los artefactos de luz y máquinas estén apagados. A su vez, cuando en el interior se tiene calefacción $U(t) > 0$, mientras que si se encuentra funcionando un equipo de aire acondicionado $U(t) < 0$.

De la expresión (1) se infiere que si $M(t) > T(t)$, la diferencia entre ambas será positiva, indicando que se producirá un incremento en la temperatura dentro del edificio, originado por $M(t)$. En caso contrario, la diferencia será negativa y se originará un descenso de $T(t)$.

A partir de un balance energético, mediante la ecuación diferencial de primer orden - ED - (2), se puede relacionar las variaciones de temperatura interior con los cambios correspondientes a las tres fuentes (o sumideros) de calor citados.

$$\frac{dT}{dt} = H(t) + U(t) + K[M(t) - T(t)] \quad (2)$$

Como la ED es lineal, puede resolverse utilizando el método del factor integrante (FI). Para ello se reescribe la ecuación (2):

$$\frac{dT}{dt} + P(t) * T(t) = Q(t) \quad (3)$$

en la cual:

$$P(t) \doteq K \quad (4)$$

$$Q(t) \doteq KM(t) + H(t) + U(t) \quad (5)$$

se encuentra el FI, que luego multiplica la ED (3):

$$e^{\int P(t) dt} = e^{\int K dt} = e^{Kt} \quad (6)$$

$$e^{Kt} \frac{dT}{dt} + Ke^{Kt} T(t) = e^{Kt} Q(t) \quad (7)$$

el miembro izquierdo se puede escribir en forma

compacta en base a la derivada de un producto:

$$\frac{d}{dt} \left[e^{Kt} T(t) \right] = e^{Kt} Q(t) \quad (8)$$

integrando (8) se encuentra la solución a la ED:

$$e^{Kt} T(t) = \int e^{Kt} Q(t) dt + C$$

$$T(t) = e^{-Kt} \int e^{Kt} Q(t) dt + C e^{-Kt}$$

$$T(t) = e^{-Kt} \left\{ \int e^{Kt} [KM(t) + H(t) + U(t)] dt + C \right\} \quad (9)$$

La ecuación (9), obtenida luego de reemplazar $Q(t)$, permite establecer las fluctuaciones en la temperatura interior $T(t)$.

2.2 Caso en análisis

Para establecer una solución para la nave considerada, a partir de un relevamiento en la misma se concluye que puede asumirse que:

- son invariables el número de personas, luminarias y máquinas que operan en su interior, lo cual implica que H será constante, por lo que se lo designa como H_0 ;
- no existe calefactor ni aire acondicionado en dicho ámbito, de modo que $U(t) = 0$.

También se supone que la temperatura exterior se puede representar mediante una variación diaria sinusoidal dada por la ecuación (10), la cual tiene un periodo de 24 horas. Inicialmente se asume que el mínimo se verifica a medianoche y el máximo al mediodía. En esta expresión: M_0 , temperatura exterior media; B , amplitud de la variación térmica sinusoidal; $w = \pi/12$, frecuencia angular de la onda sinusoidal.

$$M(t) = M_0 - B \cos(wt) \quad (10)$$

Por lo expuesto, puede reescribirse (5):

$$Q(t) \doteq K(M_0 - B \cos(wt)) + H_0 \quad (11)$$

En $t = 0$ (medianoche), aceptando que $Q(0) = 0$, de la expresión anterior se deduce:

$$M_0 = B_0 - \frac{H_0}{K} \quad (12)$$

Reemplazando (12) en (10) se obtiene (13). A continuación, sustituyendo esta última en (9) y teniendo presente las consideraciones citadas en el inicio de esta sección respecto a las fuentes (o sumideros) de calor, se deduce (14).

$$M(t) = B_0 - \frac{H_0}{K} - B \cos(wt) \quad (13)$$

$$T(t) = e^{-Kt} \int e^{Kt} [KB_0 - H_0 - KB \cos(wt) + H(t)] dt + Ce^{-Kt}$$

$$T(t) = e^{-Kt} \int e^{Kt} [KB_0 - H_0 - KB \cos(wt) + H_0] dt + Ce^{-Kt}$$

$$T(t) = e^{-Kt} \int e^{Kt} [KB_0 - KB \cos(wt)] dt + Ce^{-Kt}$$

$$T(t) = B_0 - BF(t) + Ce^{-Kt} \quad (14)$$

con

$$F(t) = \frac{\cos(wt) + \left(\frac{w}{k}\right) \sin(wt)}{1 + \left(\frac{w}{k}\right)^2} \quad (15)$$

Se determina la constante de integración, de modo que a medianoche ($t = 0$) la temperatura interior sea igual a la inicial T_0 .

$$T_0 = B_0 - BF(0) + C$$

$$C = T_0 - B_0 + BF(0)$$

$$C = T_0 - B_0 + \frac{B}{1 + \left(\frac{w}{K}\right)^2} \quad (16)$$

$$B_0 = M_0 + \frac{H_0}{K} \quad (17)$$

Se advierte que el edificio se encuentra en funcionamiento durante varias jornadas previas, lo que constituye un tiempo extenso. Por esto, en la ecuación (14) es factible asumir que su término exponencial tiende a cero y se puede despreciar.

Por otra parte, de la ecuación (12) se determina (17), para la temperatura interior media diaria.

En la ecuación (14) el término $BF(t)$ representa la variación sinusoidal de la temperatura dentro del local en correspondencia con la variación de la temperatura exterior. A su vez, se puede reescribir $F(t)$ conforme (18).

$$F(t) = \left[1 + \left(\frac{w}{k}\right)^2 \right] \cos(wt - \phi) \quad (18)$$

Expresión obtenida considerando que en el numerador se tiene la combinación de dos sinusoides de igual argumento, con amplitud resultante $\sqrt{1 + \left(\frac{w}{K}\right)^2}$ y desfase $\tan(\phi) = \frac{w}{K}$.

Este retraso evidencia el “*delay térmico*” entre las temperaturas externa e interna, que habitualmente

es de 1.8 a 3 horas. Además, la amplitud de la fluctuación interna está indicada entre corchetes en la ecuación (18), la cual se espera que sea algo menor que en el exterior.

3 APLICACIÓN

En esta sección, primero se valida la expresión propuesta para representar las fluctuaciones de la temperatura exterior. Luego, se determinan las propiedades físicas que caracterizan al techo de la Nave del Pabellón Electromecánica (Parque Industrial, FCEyT-UNSE). A estos fines se define su geometría y conductividad térmica. A continuación, se estima el calor recibido por energía solar incidente. En el final de la sección, con los datos anteriores se determinan variaciones de temperatura en ambas caras del divisorio.

3.1 Validación de la expresión para la temperatura externa

Para comprobar la validez de la representación de las fluctuaciones térmicas externas, se consideran resultados de la ecuación (10) para un día determinado, los que se muestran en Fig. 1. Las magnitudes insertas en dicha expresión son $M_0 = 17.4$ y $B = 8.5$. En esta gráfica además se exhiben datos obtenidos de la Estación Meteorológica Local (EML) referenciada.

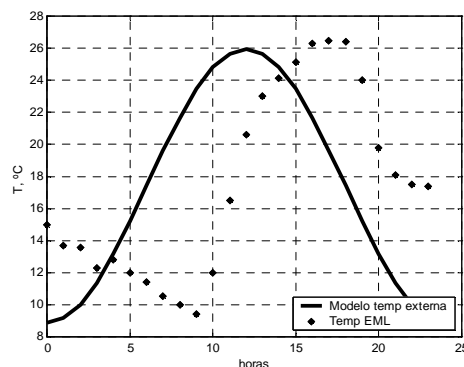


Fig. 1. Temperatura exterior para 17/07/2013.

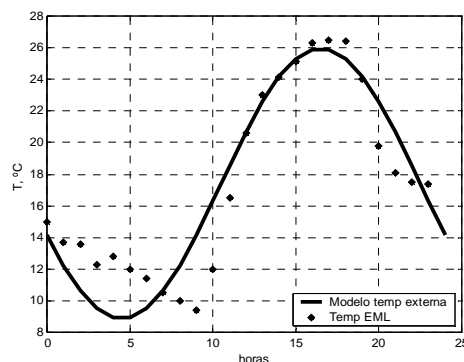


Fig. 2. Temperatura exterior para 17/07/2013, con retardo de máxima.

Tabla 1: Magnitudes para jornadas analizadas

N°	Día	M _o	B
1	03/07/2013	18.5	8.5
2	10/07/2013	13.1	1.2
3	17/07/2013	17.4	8.5
4	18/07/2013	15.6	5
5	19/07/2013	9.5	2.3
6	20/07/2013	10	4.6
7	21/07/2013	8	2.8
8	22/07/2013	5.1	7.3
9	23/07/2013	5.7	9.7
10	24/07/2013	9	9.5
11	31/07/2013	19.7	5.7

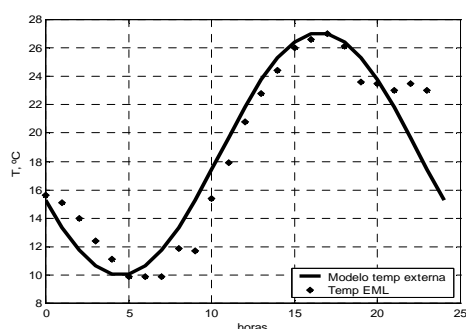


Fig. 3. Temperatura exterior para 03/07/2013.

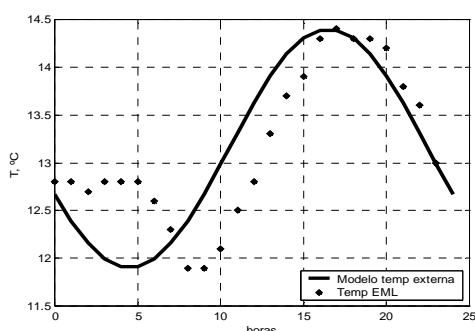


Fig. 4. Temperatura exterior para 10/07/2013.

De las curvas graficadas se advierte que la temperatura exterior modelada responde a las premisas establecidas, es decir mínimo a medianoche y máximo al mediodía. Sin embargo, la correlación de los resultados del modelo con las temperaturas meteorológicas indican que el máximo se verifica entre las 16 y 17 horas.

Por esta diferencia, se hace necesario insertar un retraso en la variación térmica externa, adoptándose un valor de 4,5 horas. En la gráfica siguiente se exponen nuevos datos, conforme este retardo, que evidencian buena correlación con los valores reales. En particular, se observa un ajuste apropiado en los valores térmicos superiores, aunque en los mínimos no ocurre lo mismo. Esta circunstancia se acepta apropiada dada la simplicidad del modelo matemático adoptado, como también teniendo en cuenta que para el análisis del confort térmico edilicio tienen mayor

relevancia las temperaturas más altas que se verifican en horas vespertinas.

A continuación se analiza (habiendo incluido el retraso citado) la correlación de las jornadas restantes indicadas en Tabla 1. Las Figuras 3 a 12 muestran las curvas logradas con el modelo y las temperaturas ambientes relevadas en la EML.

Primero se analiza la semana del 17 al 23 de Julio pasado, y luego cinco días considerados representativos del citado mes. Para los días de la semana mencionada, en general se advierte una correlación apropiada, similar a la registrada el 17, a excepción de la jornada siguiente y del 21. En las primeras horas de la tarde del 18 de julio, se concretó la entrada de un frente frío al área de la Ciudad de Santiago del Estero, que se evidencia en la gráfica 5 con un notorio cambio en las condiciones climáticas. Mientras que el 21 también se ha verificado una inestabilidad climática, en virtud de una ola polar que provocó nevadas en regiones cercanas. En ambos casos, por las causas citadas se han distorsionado sus representaciones con el modelo matemático.

Para cuantificar la correlación entre los resultados matemáticos y las temperaturas reales, se determina la magnitud de las diferencias relativas respecto de las últimas para los días citados.

Las diferencias citadas para la semana comprendida entre el 17 y 23 de Julio, se exhiben en la Figura 13. En ella se observa que en horarios vespertinos, coincidentes con las temperaturas más elevadas el ajuste es aceptable, mientras que en las horas restantes se advierten resultados dispersos, incluso algunos con disparidades muy notorias. La gráfica siguiente muestra estas diferencias relativas para los períodos comprendidos entre las 12 y 20 horas, que ratifica la conclusión precedente acerca de la correlación apropiada en la tarde, pues para el edificio son lapsos de mayor interés por las características de su ocupación y tipo de actividades que se realizan.

Para los días miércoles de Julio pasado (3, 10, 17, 24 y 31) nuevamente, se han determinado las diferencias relativas referidas a las temperaturas meteorológicas, las que se exponen en la Figura 15. Para el lapso de mayor interés, pueden observarse las mismas en la gráfica siguiente.

Es evidente que el modelo matemático representa de modo aproximado las fluctuaciones estacionarias de temperatura, pues cuando se verifican inestabilidades climáticas como las ocurridas el 18 o 21 de julio pasados, se verifican apartamientos de los datos logrados con el modelo respecto de los valores reales. Como conclusión de este apartado, se explicita que los resultados se estiman consistentes y apropiados a una expresión matemática que podría calificarse

como simple, lo cual permite aplicarla para encontrar variaciones de la temperatura interior.

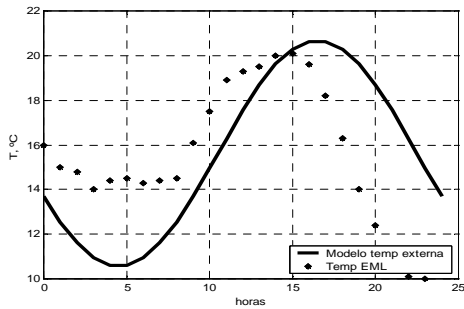


Fig. 5. Temperatura exterior para 18/07/2013.

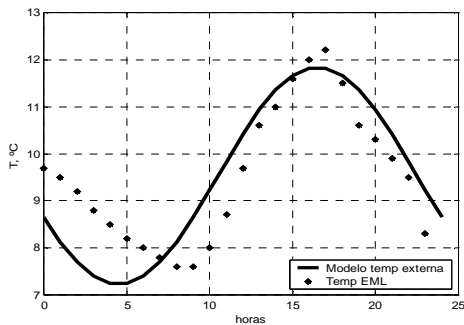


Fig. 6. Temperatura exterior para 19/07/2013.

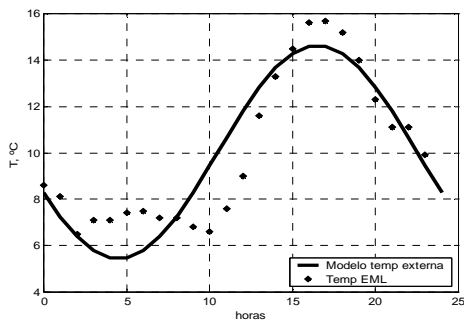


Fig. 7. Temperatura exterior para 20/07/2013.

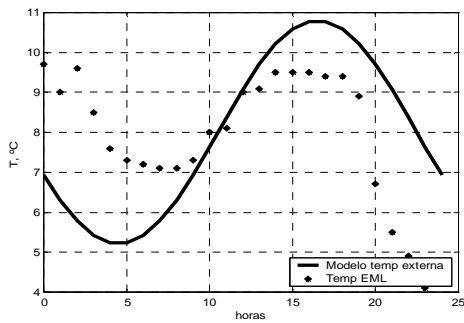


Fig. 8. Temperatura exterior para 21/07/2013.

Se entiende que el empleo de una ecuación matemática “sencilla” sería una causa por la cual se verifican discrepancias de los resultados con los valores reales. Por ello, en el futuro se examinará la posibilidad de representar la temperatura real exterior con una poliarmonica.

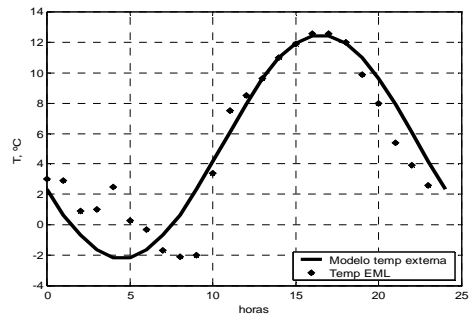


Fig. 9. Temperatura exterior para 22/07/2013.

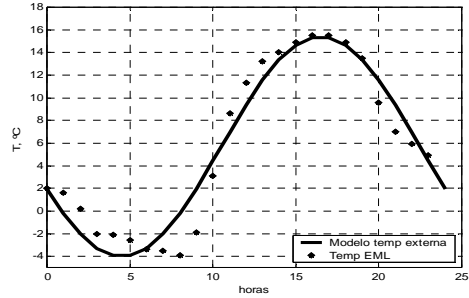


Fig. 10. Temperatura exterior para 23/07/2013.

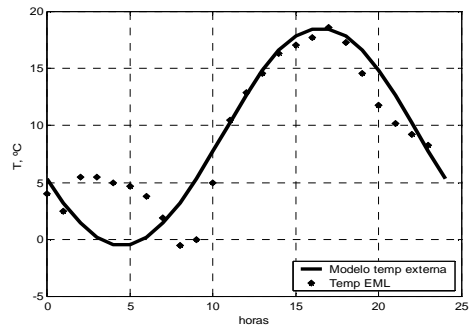


Fig. 11. Temperatura exterior para 24/07/2013.

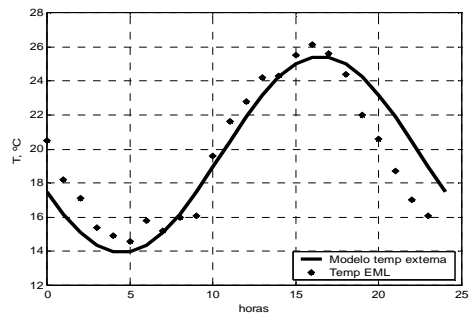


Fig. 12. Temperatura exterior para 31/07/2013.

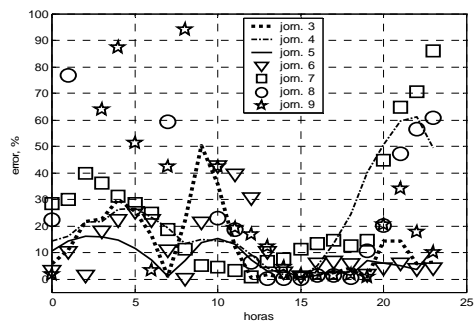


Fig. 13. Diferencias de $M(t)$ respecto de la real.

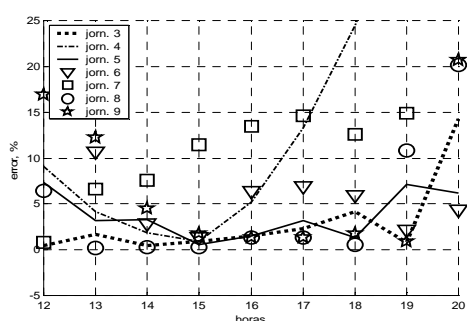


Fig. 14. Detalle en diferencias de M(t).

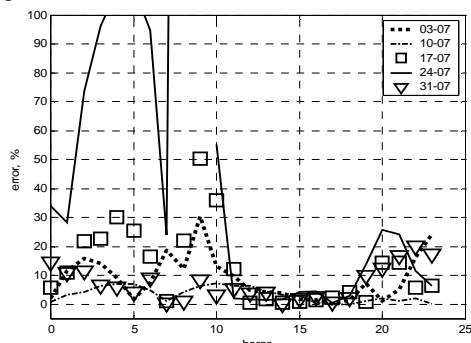


Fig. 15. Diferencias de M(t) respecto de la real para jornadas 1, 2, 10, 11.

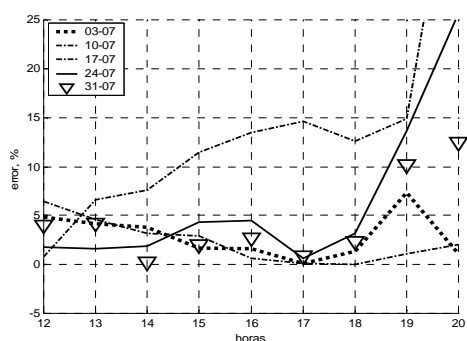


Fig. 16. Detalle de diferencias en M(t) para jornadas 1, 2, 10, 11.

3.2 Geometría y conductividad del divisorio

El techo de la Nave del Pabellón Electromecánica (Parque Industrial, FCEyT-UNSE) tiene la sección indicada en la Fig. 17 con las características que se consignan en la Tabla 2. Para el presente trabajo se considera su geometría en forma simplificada, asumiéndola como una pared horizontal plana sin refuerzos estructurales. La conductibilidad térmica K es una constante que resulta de las propiedades de la pared, no dependiente de las temperaturas exterior e interior ni de la variable tiempo. Su valor representa sus características propias y las propiedades de las aberturas que tuviere.

El techo considerado no posee ventanas, puertas, portones ni dispositivos de ventilación. Su conductividad solo está determinada por sus

características propias, es decir, su valor se corresponderá con su constitución y espesores de materiales usados (hormigón, cubierta, aislamiento, etc.). Como tal se adopta el valor consignado en Tabla 2 (Monroy, 2013).

Tabla 2: Características de divisorio en análisis

Tipo	Hormigón prefabricado sección "Y"
Cubierta Exterior	Membrana con capa reflectante
Área (S), m ²	196,4
Espesor, m	0,20
K, w/m°C	0,95

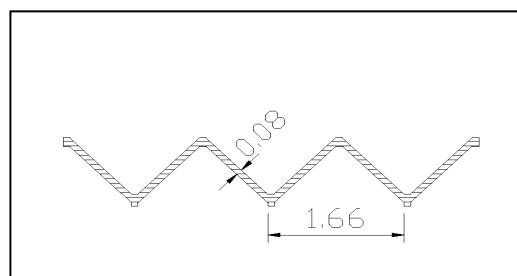


Fig. 17. Detalle techo.

3.3 Energía ingresada

Conforme se explicita en párrafos anteriores, la energía calórica que preponderantemente ingresa al pabellón considerado es solar. A los fines de su cuantificación y como una primera aproximación se consideran los valores de radiación, específicos para los días considerados, los que se obtienen de la EML referenciada, próxima a la localización del edificio. Estos datos se integran numéricamente para establecer la energía solar total (ET) por jornada. Con este valor se determina H_o en la ecuación (19), teniendo en cuenta el área del techo, su espesor (e) y las horas de radiación solar (h).

$$H_o = \frac{ET * S * e}{(h * 3600)} \quad (19)$$

Tabla 3: Datos de aplicaciones de M(t) y T(t).

Día	M _o	B	ET	h	H _o
20/07/2012	14.1	10.2	3285	10	1.3
19/08/2012			3880	11	
17/07/2013	17.4	8.5	3580	10	1,59
24/07/2013	9	9.5	3885	10.5	
31/07/2013	19.7	5.7	3290	11	

3.4 Resultados

Aplicando las expresiones (13), (14), (15) y (17), en un código matemático se determinan los resultados ilustrados en Figuras 18 a 22. En estas gráficas se advierte una representación aproximada de las temperaturas externa e interna,

acorde con la simplicidad del modelo matemático aplicado. Conforme las expectativas, se observa en ellas un apropiado “delay térmico”, como también un retraso en los procesos de calentamiento y enfriamiento internos.

Por lo expuesto, se considera satisfactoria la modelación implementada, pues permite una representación próxima a las variaciones térmicas a ambos lados del divisorio.

4 CONCLUSIONES

El presente registra una modelación matemática para las temperaturas exterior e interior en proximidades del techo de la nave del Pabellón de Electromecánica (FCEyT – UNSE). Los resultados obtenidos para la representación de la temperatura externa se consideran apropiados para el período vespertino, en el cual los valores climáticos son más severos. No obstante, se analizará a futuro una optimización del modelo mediante una expresión poliarmónica.

Respecto a la temperatura interior, los datos alcanzados se consideran acordes a la simplicidad del modelo aplicado. A futuro se prevé contrastar los mismos con mediciones experimentales para parametrizar los ajustes correspondientes con datos reales.

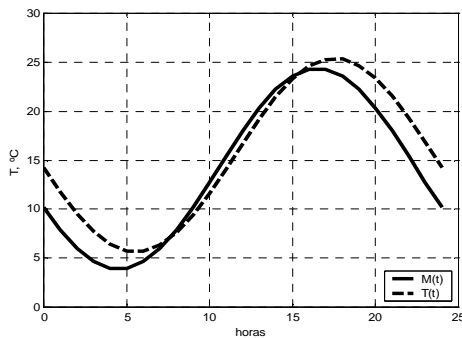


Figura 18. M(t) y T(t) en 20/07/2012.

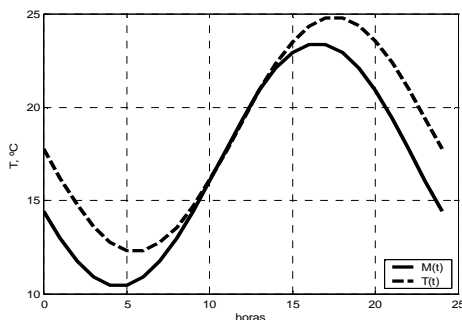


Figura 19. M(t) y T(t) en 19/08/2012.

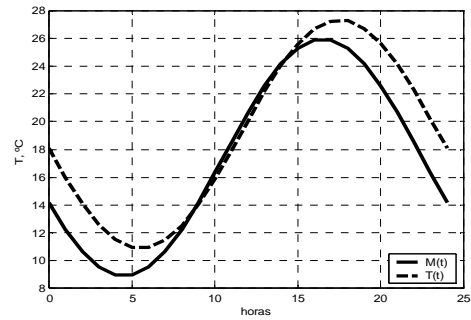


Figura 20. M(t) y T(t) en 17/07/2013.

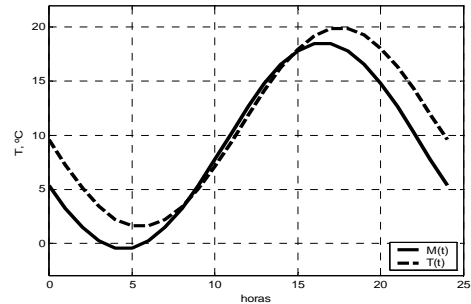


Figura 21. M(t) y T(t) en 24/07/2013.

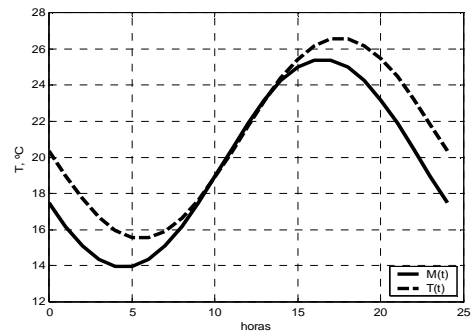


Figura 22. M(t) y T(t) en 31/07/2013.

REFERENCIAS

- Clarke J., *Energy simulation in building design*, Butterworth–Heinemann, 2001.
- Nagle K., Saff E. & Snider D., *Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera*, Pearson, México, 2011.
- Monroy M., *Conductividad térmica y densidad*, Manuales ICARO de Calidad Ambiental en Edificación (Univ. Las Palmas Gran Canaria), <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/2-%20CALOR/4-Construccion/C.6.4%20Conductividad%20t%E9rmica%20y%20densidad.PDF>, 02/08/2013.
- Diario Panorama. Estación Meteorológica Automática (EML) marca Davis Instruments. http://www.diariopanorama.com/contenidos/estado_del_tiempo-33.html