

## Verificación de la envolvente mediante Termografía Verification of the envelope through Thermography

Maira N. Sosa, Matías Carrión

*Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, UTN (Lavaisse 610, Santa Fe)*

E-mail de autores: [msosa@frsf.utn.edu.ar](mailto:msosa@frsf.utn.edu.ar); [mcarrion@frsf.utn.edu.ar](mailto:mcarrion@frsf.utn.edu.ar)

**Resumen:** Para cumplir cierta calidad de habitabilidad, la envolvente, - la cubierta y los muros de cerramientos- de los sistemas constructivos debe verificarse la transmitancia térmica y es realizada de manera teórica. Sin embargo, estas verificaciones pueden diferir finalmente de lo que se construye debido a cambios en la producción de los materiales, fallas constructivas, encuentros o soluciones estructurales adoptadas en el sistema constructivo. En este sentido, se busca corroborar las verificaciones teóricas en gabinete, mediante el uso de cámara termográfica. A tal efecto se emplea un sistema constructivo desarrollado en el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda; esto implica establecer una forma de trabajo y control que pueda replicar a otros sistemas constructivos. Del mismo, se busca identificar los puentes térmicos presentes en el sistema constructivo y plantear posibles soluciones que se evaluarán desde el punto de vista teórico y desde la verificación del sistema constructivo.

**Palabras claves:** Termografía, verificación, envolvente, puentes térmicos, transmitancia.

**Abstract:** To meet a certain quality of habitability, the envelope - the roof and the enclosure walls - of the construction systems must verify the thermal transmittance and it is carried out theoretically. However, these verifications may ultimately differ from what is built due to changes in the production of materials, construction failures, encounters or structural solutions adopted in the construction system. In this sense, it is sought to be able to corroborate the theoretical verifications in the cabinet, through the use of a thermographic camera. To this end, a construction system developed at the Research and Development Center for Construction and Housing is used; This implies establishing a form of work and control that can be replicated in other construction systems. Of the same, it seeks to identify the thermal bridges present in the construction system and propose possible solutions that will be evaluated from the theoretical point of view and from the verification of the construction system.

**Keywords:** Thermography, verification, envelope, thermal bridges, transmittance.

## 1. Introducción:

Una construcción, desde el punto de vista térmico, puede entenderse como un mecanismo complejo que posee puntos críticos, los cuales aportan, en mayor o menor medida, a la ineficiencia térmica del edificio; esto conlleva a la falta de condiciones de habitabilidad o condiciones de confort insuficientes o bajas.

Probablemente, en la mayoría de los casos, estos puntos deficientes no son observables a simple vista, sin embargo, está comprobado que, en cualquier elemento de la envolvente (pisos, cubiertas, muros) que posee zonas susceptibles a mejoras, es notable la diferencia de temperatura superficial, de manera que las fallas o anomalías pueden ser detectadas mediante este parámetro, que es la diferencia de temperatura superficial.

Así, es de utilidad una herramienta y procedimiento que permita “escanear” los elementos de la envolvente, con el fin de identificar las zonas defectuosas e intervenirlas para solucionar los problemas de ineficiencia térmica. Es aquí donde la Termografía Infrarroja (TIR) adquiere un rol importante y ha ido evolucionando a lo largo de los años en cuanto a sus ámbitos de aplicación, tal como menciona Elena Lucchi en su compilado, recién en los últimos 15 años pasó a tomarse en consideración como herramienta de apoyo en lo que suele denominarse auditorías energéticas, y más precisamente eficiencia térmica en las construcciones (Lucchi, 2018). Sus principios de aplicación en la Ingeniería Civil remota a mediados de la década de 1980.

La TIR, mediante la transformación de la radiación térmica emitida por el objeto en una imagen visible, permite detectar esta diferencia de temperatura y, por lo tanto, visualizar la presencia de fallas existentes en la construcción, debido a deficiencias en el aislamiento térmico, puentes térmicos debido al sistema constructivo, condensaciones intersticiales o superficiales, etc.

El rendimiento térmico de las envolventes de los edificios es el principal factor que afecta al consumo de energía de una construcción. Las pérdidas por transferencia de calor a través de los elementos de cierre representan entre el 60% y 80% de la pérdida total de calor por transferencia. Es por ello por lo que uno de los objetivos del presente proyecto es evaluar la eficiencia energética del sistema constructivo desarrollado por el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), que consiste en paneles de Virutas de Madera y Cemento con una estructura compuesta por tubos estructurales y perfiles galvanizados tipo U. De manera que, si se observan puntos críticos proponer soluciones para reducir la transferencia de calor a través de dichos puntos.

A su vez, se busca comparar los valores reales, obtenidos mediante la cámara termográfica con los valores teóricos brindados por las Normas relacionadas al acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad, entre otras. Esta comparación se realiza con el fin de analizar las diferencias que existen entre lo real y lo teórico ya que, como detallan Virginia Gori y Cliff Ewell en su artículo, varios estudios han demostrado discrepancias entre el comportamiento esperado de acuerdo con lo indicado en las tablas al estimado a partir de mediciones in situ (Gori & Ewell, 2017).

Es importante destacar, que las mediciones se realizan sobre el Sistema mencionado anteriormente, pero se plantea una metodología tal que pueda ser aplicada en cualquier tipo de construcción, por lo que estas comparaciones y análisis podrían realizarse sobre cualquier edificio construido,

De esta manera, con la cámara termográfica Testo 872, se miden las temperaturas superficiales de las edificaciones realizadas con dicho sistema constructivo. Las mediciones se realizan en distintas estaciones del año y horarios, con el fin de evaluar y concluir acerca de la eficiencia energética que posee la envolvente del edificio y comparar con los valores teóricos brindados por las normas anteriormente mencionadas. A su vez, identificar posibles puntos débiles de la construcción, donde puedan producirse riesgos de condensación en la envolvente y/o pérdidas o mayor transmitancia de calor.

## 2. Sistema y Materiales

El sistema constructivo MC-MC (Figura 1: Sistema Global/Panel MC-MC) es desarrollado por el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), y está compuesto por tres componentes principales; perfiles galvanizados tipo U, tubos estructurales y paneles de madera cemento.

Los paneles (Figura 1: Sistema Global/Panel MC-MC-Derecha) consisten en una estructura de esponja rígida confeccionada a partir de virutas de maderas regionales o recicladas y cemento Portland. Tiene dimensiones de 25 [cm] de alto, 50 [cm] de ancho y 10 [cm] espesor. Se implementan muy fácilmente en obra mediante técnicas de construcción en seco, acelerando los tiempos de construcción comparados con la construcción tradicional.

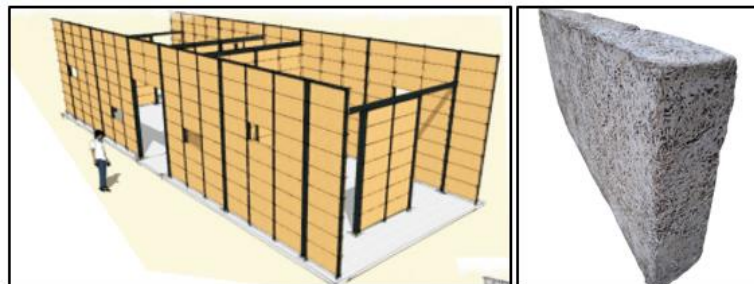


Figura 1: Sistema Global/Panel MC-MC

Con la cámara termográfica se midieron las temperaturas superficiales sobre el sistema constructivo MCMC, que fue utilizado para la construcción de la Escuela de Oficios de la UTN – FRSF, ubicada en el puerto de la Ciudad de Santa Fe.

## 3. Método de medición

Para lograr tener un control lo más amplio posible sobre la envolvente de las construcciones, es necesario generar un método de medición, el cual debe abarcar la mayoría de los puntos de interés del sistema, es decir, puntos que corresponden a la estructura, encuentros y, por otro lado, los correspondientes a los elementos de cierre de la construcción. En este caso en particular los puntos de interés son sobre los paneles de madera cemento y sobre la estructura sostén de estos.

Por otro lado, para obtener los resultados correctos en las mediciones, es necesario conocer las condiciones ambientales del lugar (Temperatura y Humedad relativa) y a su vez, las emisividades correspondientes de los materiales de la superficie a medir. A la hora de realizar la medición, es de destacar la importancia de las condiciones del entorno, dado que influyen de manera significativa en las mediciones, por ejemplo, incidencia directa de la luz solar sobre la superficie a medir, posición del objeto respecto a la cámara, campo de visión de la cámara, entre otros.

#### 4. Mediciones

A continuación, se muestran algunas imágenes capturadas con la cámara y datos procesados con el programa del instrumento de medición- IRSoft v4.8-

Las mismas fueron obtenidas en diferentes fechas, por lo tanto, diferentes condiciones ambientales, siendo la Figura 2: Imagen termográfica/Imagen real - Escuela de Oficios – 1 obtenida en mayo de 2022, con una temperatura ambiente de 22°C y la Figura 3: Imagen termográfica/ Imagen real - Escuela de Oficios - 2 en junio de 2022, con una temperatura ambiente de 15°C.

Se pueden detectar rápidamente los elementos estructurales del sistema. Luego, en gabinete, con la ayuda del software se pueden obtener temperaturas de distintos puntos de las imágenes.

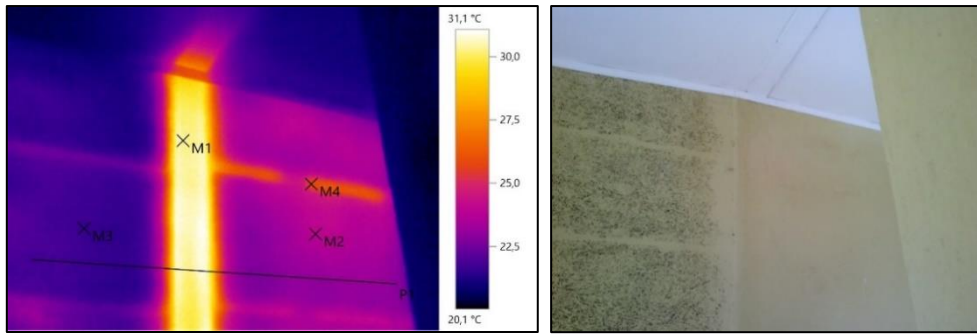


Figura 2: Imagen termográfica/Imagen real - Escuela de Oficios – 1

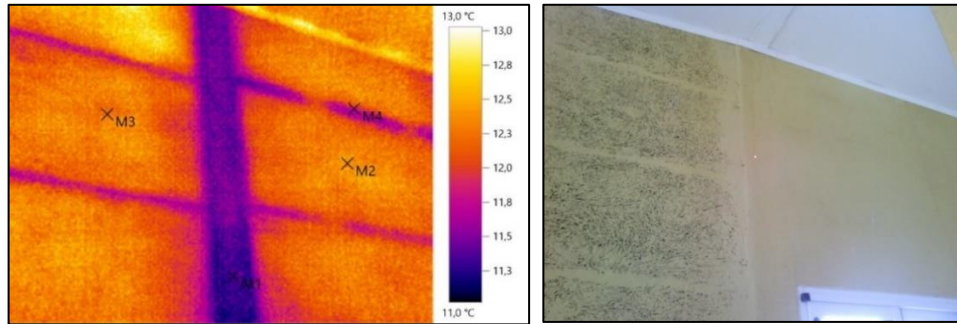


Figura 3: Imagen termográfica/ Imagen real - Escuela de Oficios - 2

#### 5. Resultados y Análisis:

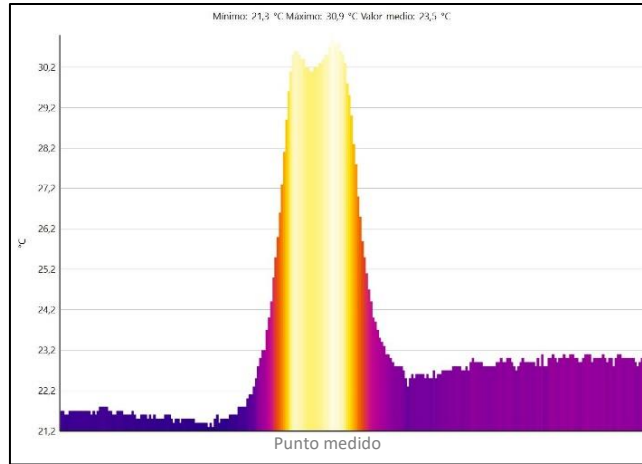
De las imágenes anteriormente presentadas, se obtienen las temperaturas de los puntos de interés del sistema constructivo. En el caso de las mediciones realizadas en el mes de mayo, los valores se muestran en la Tabla 1: Resultados obtenidos – mayo 2022 y observándose la diferencia de temperaturas de un punto a otro. Este gradiente térmico, se visualiza gráficamente en la Figura 4: Perfil de Temperaturas - Escuela de Oficios UTN – 1 – mayo 2022.

También se observa, que si bien la temperatura, de las mediciones varía solamente en 7°C el comportamiento del elemento estructural es diferente, ya que a mayor temperatura transfiere calor hacia el local, encontrándose a mayor temperatura que los paneles mientras que a menor temperatura, se visualiza una pérdida de calor, por lo que el elemento se encuentra a menor temperatura que los Paneles MC-MC.

**Marcas de imagen:**

Objetos de medición	Temp. [°C]	Emis.	Temp. refl. [°C]	Comentarios
Punto de medición 1	30,3	0,95	22,0	Tubo estructural
Punto de medición 2	23,7	0,95	22,0	Panel con 2 capas de revoque
Punto de medición 3	21,5	0,95	22,0	Panel con 1 capa de revoque
Punto de medición 4	25,4	0,95	22,0	Junta entre paneles

**Tabla 1: Resultados obtenidos – mayo 2022**



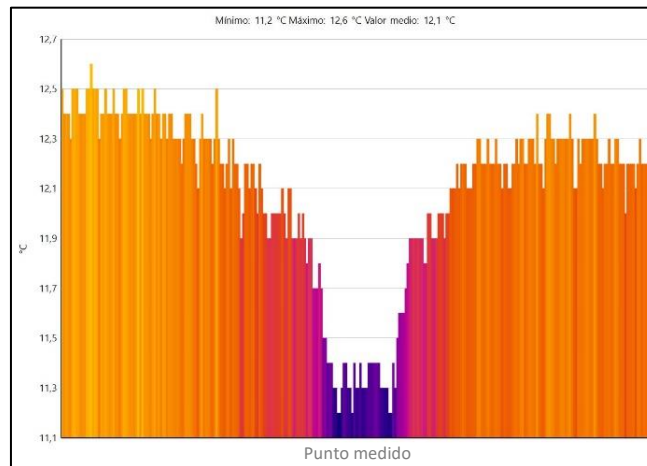
**Figura 4: Perfil de Temperaturas - Escuela de Oficios UTN – 1 – mayo 2022**

De la misma manera, se obtuvieron los resultados de las mediciones realizadas en el mes de junio del corriente año, mostrándose los respectivos valores en la Tabla 2: Resultados obtenidos - junio 2022 y gráficamente se visualiza en la Figura 5: Perfil de Temperaturas - Escuela de Oficios UTN - 2 - junio 2022.

**Marcas de imagen:**

Objetos de medición	Temp. [°C]	Emis.	Temp. refl. [°C]	Comentarios
Punto de medición 1	11,2	0,95	15,0	Tubo estructural
Punto de medición 2	12,5	0,95	15,0	Panel con 2 capas de revoque
Punto de medición 3	12,2	0,95	15,0	Panel con 1 capa de revoque
Punto de medición 4	11,7	0,95	15,0	Junta entre paneles

**Tabla 2: Resultados obtenidos - junio 2022**



**Figura 5: Perfil de Temperaturas - Escuela de Oficios UTN - 2 - junio 2022**

Los resultados obtenidos se pueden analizar de dos maneras: verificando el riesgo de condensación superficial e intersticial y, por otro lado, comparando los Niveles de Confort que establece la Norma IRAM 11605 según la diferencia de temperatura entre la temperatura interior y superficial del elemento medido.

En esta oportunidad, se procede a analizar los resultados correspondientes a la medición realizada en junio 2022 y compararlos con la Norma 11605 (Tabla 3: Niveles de Confort según Norma IRAM 11605), que establece los distintos Niveles de confort. De esta manera, se formula la Tabla 4: Datos y resultados obtenidos.

Norma IRAM 11605	
Nivel de Confort	$\Delta t_{int-t_{sup}}$ [°C]
Nivel A	1
Nivel B	2,5
Nivel C	4

Tabla 3: Niveles de Confort según Norma IRAM 11605

Datos de entrada				
Fecha:	1/6/2022	Temperatura Interior [°C]	16	
Lugar:	Esc. De Oficios	Humedad %HR:	75	
Hora:	11:00	Estación:	Otoño	
Valores obtenidos				
Referencia	Punto	$t_{sup}$	$\Delta t_{int-t_{sup}}$	Nivel de confort
Tubo estructural	M1	11,2	4,8	NO VERIFICA
Panel Rev. Doble	M2	12,5	3,5	NO VERIFICA
Panel Rev. Simple	M3	12,2	3,8	NO VERIFICA
Junta entre Paneles	M4	11,7	4,3	NO VERIFICA

Tabla 4: Datos y resultados obtenidos

Según los resultados obtenidos, se observa que el sistema no verifica con los niveles de confort mínimos de habitabilidad establecidos por la Norma IRAM 11605.

**6. Conclusiones:**

A partir de los resultados obtenidos en la investigación se puede concluir que:

- La TIR es de utilidad para una visualización de los puentes térmicos y rápida evaluación de condiciones de confort conociendo las temperaturas interior y superficial.
- Los valores teóricos son comparables solamente cuando intervienen temperaturas superficiales y de ambiente, como nivel de confort según Norma IRAM 11605 y riesgos de condensación, por lo tanto, no es posible obtener valores reales de transmitancia mediante este método y compararlos, dado que no intervienen las temperaturas superficiales en los cálculos teóricos.
- Solamente es posible identificar objetos a poca profundidad de la superficie.
- La TIR es de gran utilidad solamente para visualizar puentes térmicos y temperaturas superficiales (no es útil en profundidad del elemento) y se puede comparar con la teoría solamente conociendo como está compuesto el elemento de cierre medido.
- En cuanto al sistema constructivo, es evidente la necesidad de mejorar los puntos críticos obtenidos en los resultados, ya que no cumplen con el nivel de confort mínimo establecido. Las soluciones aún se encuentran en proceso.

## 7. Referencias

- Lucchi, E. (2018). "Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings", *A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews* (82), 3077-3090.
- Gori, V., & Elwell, C. A. (2017). "Characterization of the thermal structure of different building constructions using in-situ measurements and Bayesian analysis", *Energy Procedia* (132), 537-542.
- Meng, X., Luo, T., Gao, Y., Zhang, L., Shen, Q., & Long, E. (2017). "A new simple method to measure wall thermal transmittance in situ and its adaptability analysis", *Applied Thermal Engineering* (122), 747-757.
- Larsen, S., Hongn, M. (2012). "Termografía infrarroja en la edificación: Aplicaciones cualitativas", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 0329-5184.
- Hurnik, M., Specjal, A., Popiolek, Z., & Kierat, W. (2018). "Assesment of single-family house thermal renovation based on comprehensive on-sit diagnostics", *Energy Build*, 158, 162-171.
- Bergero, S., Cavelletti, P., & Chiari, A. (2017). "Energy refurbishment in existing buildings: thermal bridge correction according to DM 26/06/2015 limit values", *Energy Procedia*, 140, 127-140.
- Taileb, A., & Dekkiche, H. (2015). "Infrared Imaging as Means of Analyzing and Improving Energy Efficiency of Building Envelopes: The case of a LEED Gold Building", *Procedia Eng.*, 118, 639-646.
- Fox, M., Coley, D., Goodhew, S., & De Wilde, P. (2014). "Thermography methodologies for detecting energy related building defects", *Renew. Sustain Energy Rev.*, 40, 269-310.
- Norma IRAM 11601:1996 "Aislamiento térmico de edificios, métodos de cálculo".
- Norma IRAM 11605:1980 "Acondicionamiento térmico de edificios condiciones de habitabilidad en edificios".
- Norma IRAM 11625:2000 "Acondicionamiento térmico de edificios condiciones de habitabilidad en edificios".