

CADI 2016

7,8 Y 9 DE SEPTIEMBRE
RESISTENCIA - CHACO

ISBN 978-950-42-0173-1



9 789504 201731



III CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA

En conjunción con:

CAEDI 2016
IX CONGRESO ARGENTINO DE
ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA



UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL
RESISTENCIA



UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL NORDESTE
FACULTAD
DE INGENIERÍA



confedi

ISBN 978-950-42-0173-1

MEDICION DE CONDICIONES DE ILUMINACIÓN NATURAL Y ARTIFICIAL EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES DE LA UNaF. COMPARACIÓN CON CONDICIONES FIJADAS POR NORMATIVA IRAM-AADL

MARTINA, Pablo, Grupo de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables (GIDER). Depto. de Termodinámica. Facultad de Ingeniería (FI) – Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Av. Las Heras N° 727. Resistencia, Chaco. pablo@ing.unne.edu.ar

CÓCERES, Héctor, Facultad de Recursos Naturales (FRN), Universidad Nacional de Formosa (UNaF). Av. Gutnisky 3200, Formosa. h_coceres@yahoo.com.ar

ALÍAS, Herminia, Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU). Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Resistencia, Chaco. Av. Las Heras N° 727. heralias2001@yahoo.com.ar

FLORES, María, Facultad de Recursos Naturales (FRN), UNaF. mariafloresing@gmail.com

CORACE, Juan José, GIDER. Facultad de Ingeniería (FI) – UNNE.

ARCE, Jorge; COMEZAÑA, Carlos y RAFANIELLO CAPRA, José, Facultad de Recursos Naturales (FRN), UNaF.

Resumen

Se exponen avances de un proyecto de investigación en desarrollo en la Universidad Nacional de Formosa, tendiente a realizar una evaluación de la calidad ambiental del aire interior y del desempeño térmico - lumínico de los edificios más representativos de su Campus, con miras a definir pautas institucionales para el Uso Racional de la Energía y para el saneamiento ambiental en su edificación. Tomado como caso el edificio de la Facultad de Recursos Naturales, se exponen los resultados de mediciones de niveles de iluminación interior (durante diciembre de 2014 y junio-julio de 2015) en una muestra de locales, y su posterior análisis y diagnóstico según la normativa vigente del IRAM-AADL J 20-06, para edificios escolares. Se registraron niveles de iluminación bastante inferiores a los establecidos para las funciones de los espacios monitoreados, además de problemas de deslumbramiento, lo que está orientando la propuesta de medidas de adecuación. Considerando que la presencia de abundante luz natural en nuestra región posibilita la iluminación de los espacios interiores durante gran parte del día, sin necesidad de recurrir a la iluminación artificial, se verifica el desaprovechamiento de las posibilidades que brinda dicha iluminación natural, por lo que es posible implementar medidas de mejoramiento, a través del adecuado planteo de las aberturas de los locales, lo que redundaría en una disminución del consumo de electricidad.

Palabras clave: edificios educativos, iluminación, mediciones, diagnóstico.

1. Introducción - Objetivos

La presencia de abundante luz natural en nuestra región nordeste argentina posibilita la iluminación de los espacios interiores durante gran parte del día, sin necesidad de recurrir a la iluminación artificial [1], o recurriendo a la misma sólo cuando la iluminación natural no está disponible, lo que redundaría en un uso menos intensivo de la iluminación artificial. El promedio mensual de irradiación solar global diaria en la ciudad de Formosa es de 6,5 KWh/m² en Enero y de 2,5 KWh/m² en Junio, mientras que la heliofanía efectiva promedio (horas de brillo solar) es de 7 horas en Diciembre y 5 horas en Junio [2]. Por otra parte, la heliofanía relativa en la ciudad de Formosa es de 59% en invierno y de 83% en verano [3]. Ante la necesidad de racionalizar y/o reducir el consumo de energía eléctrica, sin disminuir la calidad de las condiciones de habitabilidad de los espacios interiores de los edificios, se plantea la premisa de hacer un uso eficiente de la iluminación natural, en las horas en que la misma es posible, para poder así disminuir, todo lo que sea posible, la demanda de iluminación artificial. Esto se relaciona con la correcta orientación de las aberturas y paños vidriados, así como en la cuidadosa selección de su tipo y protecciones.

Se planteó la hipótesis según la cual los niveles de iluminación necesarios para el normal desarrollo de las actividades en los principales sectores del edificio de la Facultad de Recursos Naturales (FRN) de la Universidad Nacional de Formosa (UNaF) se alcanzan mediante un uso excesivo de dispositivos de iluminación artificial (lo que repercute en un consumo eléctrico intensivo), y por lo tanto desaprovechando las posibilidades de uso de la iluminación natural, en los horarios en que la misma es posible. Por lo tanto, la optimización del rendimiento lumínico, y por lo tanto energético, de los sectores principales del edificio de la FRN, con la obtención de los rangos y niveles que respondan a las normas técnicas vigentes, podrían alcanzarse mediante el adecuado aprovechamiento de la iluminación natural, a través del diseño, distribución y orientación de las aberturas y paños vidriados de las envolventes constructivas (y sus dispositivos de protección) de dicho edificio, y mediante la aplicación y adecuación a la normativa luminotécnica vigente.

En este marco, se comentan algunos resultados de un proyecto de investigación en desarrollo en la UNaF, titulado “*Determinación de las condiciones higrotérmico – lumínicas y de calidad del aire de edificios del campus de la UNaF. Diagnóstico en función de normativa de habitabilidad y URE*”. Dicho proyecto está realizando una evaluación del desempeño higrotérmico - lumínico y de calidad del aire interior de los edificios más representativos del Campus de la UNaF, lo que permitiría definir premisas básicas para determinar políticas institucionales para el “Uso Racional de la Energía” y para el saneamiento ambiental en su edificación [4 a y b]. Se tomó como caso de análisis el edificio de la FRN, un edificio educativo, que, como tal, requiere de condiciones muy específicas de acondicionamiento lumínico. Se expone la metodología empleada para arribar a un diagnóstico de las condiciones de iluminación interior, natural y artificial, en el edificio, así como los resultados de las mediciones de los niveles estivales e invernales típicos de iluminación interior en una muestra de dos de los locales de este edificio, y su posterior análisis, para detectar su grado de ajuste a la normativa vigente del IRAM-AADL [5 a y b] para edificios escolares y también para detectar posibles factores que repercutan en un uso excesivo de energía eléctrica (para la iluminación artificial del edificio) y en la calidad que brindan los espacios.

2. Edificio-caso: sede de la Facultad de Recursos Naturales – UNaF

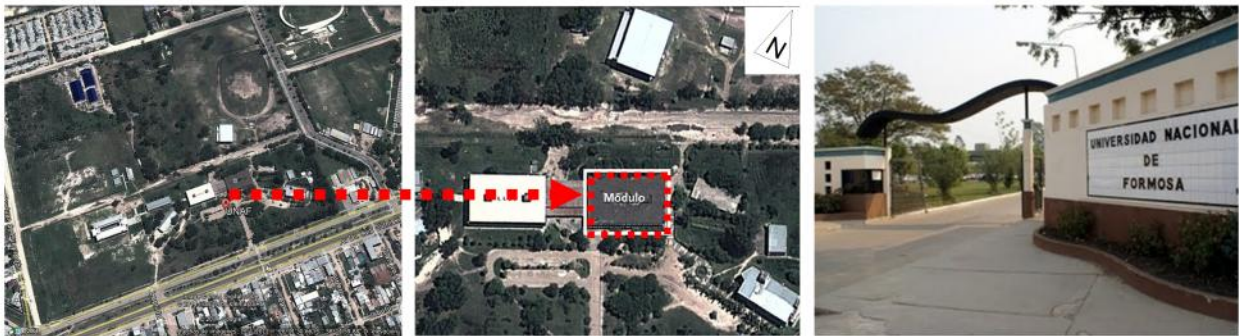


Figura 1: Fotos satelitales del Campus de la UNaF (centro). Se señala el edificio de la FRN (centro). Acceso a la UNaF (derecha). Fuente: *Google Earth*.

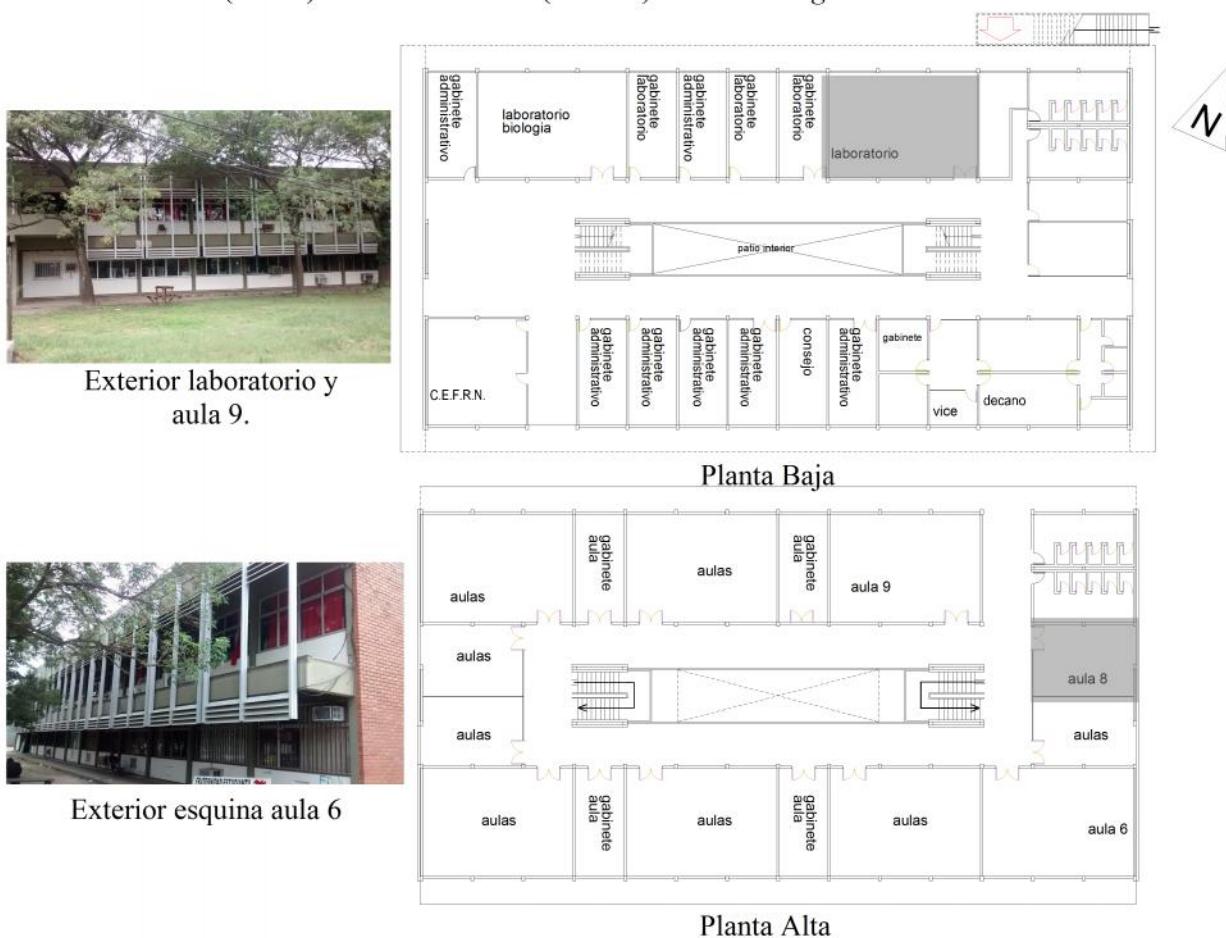
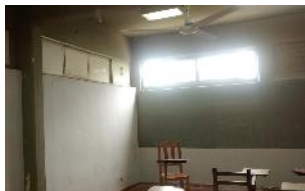


Figura 2: Esquemas en planta del edificio de la FRN (UNaF). En sombreado, los 2 locales definidos para el monitoreo lumínico: Aula 8 y Laboratorio. A la izquierda, fotografías exteriores del edificio. Fuente: elaboración propia

El edificio de la Facultad de Recursos Naturales (FRN) pertenece al Campus Universitario de la UNaF, de las avdas. Gutnisky y de Pueyrredón (Figura 1), en el sector sudoeste (SO) de la ciudad de Formosa (Latitud: 26,11°; Longitud: 58,12° Oeste; Altitud: 65 msnm), en un área urbana de media densidad. La UNaF, formada a partir del redimensionamiento de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), absorbió las sedes de ésta ubicadas en la provincia de Formosa, albergando actualmente las facultades de Ciencias de la Educación

Agraria y de Recursos Naturales Renovables, así como profesorados y tecnicaturas dependientes de éstas. Se les sumaría una facultad de Humanidades y de Ciencias de la Administración y Económicas.

Para el desarrollo del monitoreo lumínico se seleccionaron dos locales del edificio de la FRN: uno de planta baja: el Laboratorio, y otro de planta alta: el Aula 8 (Figuras 2, 3 y 4), buscando incluir aquellos que resulten representativos de las distintas situaciones (ubicación, orientación, tecnología, aberturas, etc.), para lograr mayor posibilidad de generalización de los resultados.



Figuras 3, a y b: Vistas del Aula 8. Interiores.
Fuente: fotografías propias

Figuras 4 a y b: Vistas del laboratorio.
Interior (izquierda) y exterior (derecha), con aberturas con parasoles metálicos.

3. Normativa para iluminación de edificios escolares

Tabla 1: Coeficientes de luz diurna. Fuente: Norma IRAM-AADL J 20-04 (1974).

Locales	Coefficiente de luz diurna (%)	Observaciones
Aulas de enseñanza general	2 (*)	La relación entre los valores de iluminación máximos y mínimos no excederá de 3 a 1. Las ventanas estarán colocadas de manera que los alumnos no estén enfrentados a ellas y reciban la luz del lado izquierdo.
Aulas de enseñanza especial (dibujo, dactilografía, etc.)	5 (*)	
Educación física	2 (*)	
Locales de habitación	-	Cumplirán con los requisitos dados para vivienda en la norma IRAM-AADL J 20-02
Escaleras	1	Se tendrá especial cuidado en evitar contrastes excesivos en la línea de huella de la escalera.

(*) Este valor se deberá cumplir aún en el lugar más desfavorable del local.

Fuente: elaboración propia

Tabla 2: Niveles de iluminancia. Fuente: Norma IRAM-AADL J 20-04 (1974).

Tipo de local	Valor medio de servicio de iluminancia (lux)
Aulas comunes (lectura y escritura)	500
Sobre pizarrón:	
Iluminación suplementaria	1000
Sala de lectura	400
Oficinas	500
Bibliotecas	400
Aulas especiales (trabajos prácticos)	750
Gimnasios	300
Natatorio:	
Iluminación general	300*
Vestuarios y baños:	
Iluminación general	100
Iluminación localizada	200**
Circulaciones	200
* Se recomienda iluminación subacuática de 200 lux	
** Iluminación sobre el plano vertical	
Laboratorio:	
Iluminación general	400*
Iluminación sobre el plano de lectura de aparatos	600
Enfermería:	
Iluminación general	400

* Las fuentes de luz a utilizar tendrán una buena reproducción de color.

Fuente: elaboración propia

3.1. Norma IRAM-AADL J 20-04: “*Iluminación en escuelas. Características*”: establece que los requisitos básicos para lograr el máximo confort visual son: un correcto nivel de iluminancia, una buena distribución y un adecuado contraste de Iluminancias, Los requisitos referentes a la **iluminación natural** determinan que los valores del coeficiente de luz diurna (C.L.D.) media en un local sobre el plano de trabajo (horizontal, vertical o inclinado), serán los establecidos en la tabla 1. Cuando sea imposible obtener los valores de iluminancia natural fijados en la Tabla 1, la luz diurna se complementará con **iluminación artificial**, cuyos valores medios de iluminancia (mínimos adecuados), medidos horizontalmente sobre el plano de trabajo, serán los fijados en la Tabla 2.

3.2. Norma IRAM-AADL J 20-05: “*Luminotecnia. Iluminación Artificial en Interiores. Características*”. Contiene los requisitos generales para el diseño de iluminación interior.

3.3. Norma IRAM-AADL J 20-06: “*Luminotecnia. Iluminación artificial de interiores. Niveles de iluminación*”. Establece el valor de la iluminación artificial para distintos tipos de locales, en función del destino y de la dificultad de la tarea visual a realizarse.

3.4. Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar del Ministerio de Educación de la Nación.

4. Trabajo de campo: monitoreos in situ de niveles de iluminancia

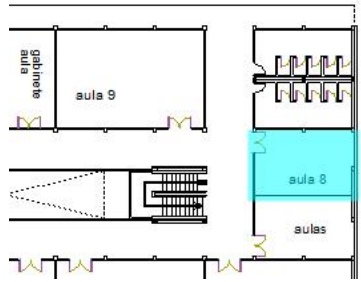
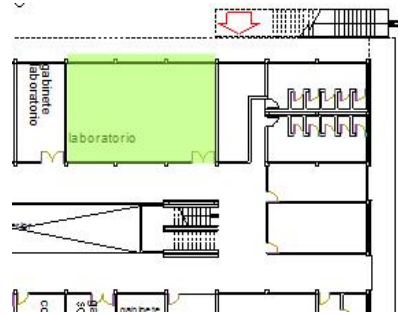
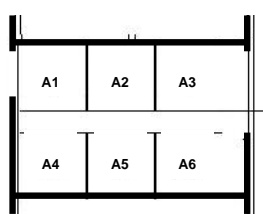
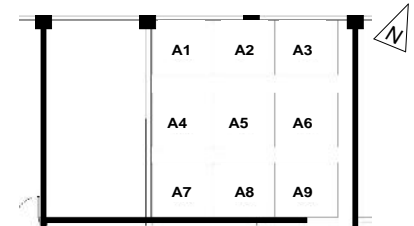
Las mediciones de iluminancia se realizaron en dos períodos: diciembre de 2014 (entre los días lunes 15 y viernes 19) y junio-julio de 2015 (entre los días lunes 29 de junio y viernes 03 de julio), con la intención de verificar el nivel de iluminación de los locales en los momentos del año donde el sol posee mayor y menor altura, respectivamente. Las mismas se realizaron en los horarios de uso habitual de los locales (entre las 8.00 hs. y las 18.00 hs.). El protocolo de monitoreo consistió en el registro de datos horarios, a través de mediciones con un multímetro digital, en puntos definidos de los locales (ver esquemas en Tabla 3: 6 puntos en el Aula 8 y 9 puntos en el Laboratorio) de: **A) Niveles de luz natural y B) Niveles de luz natural y artificial simultáneamente**. Los datos recogidos se tabularon en una planilla de Excel.

Para la medición de iluminancias se utilizó un multímetro digital auto rango 5 en 1 - MS8229 – MASTECH, con foto detector (4000Lux/40000Lux±5.0%). La cantidad de puntos de medición en los locales seleccionados (tabla 3), se estableció en relación a las dimensiones de cada local, teniendo en cuenta que la totalidad de las mediciones debían ser ejecutadas con un solo instrumental y en un período corto de tiempo. El plano horizontal de las mediciones se estableció a 0,80 m. de altura desde el nivel de piso, altura que constituye el plano de trabajo establecido por la Norma IRAM AADL J 20-02.

Durante el monitoreo de verano los días fueron soleados, con cielo claro y presencia de algunas nubes, salvo el día 17/12, en que se registró cielo nublado y abundantes lluvias. El monitoreo invernal coincidió con días de cielo claro, a excepción de los días 02/07 y 03/07, en que la nubosidad fue abundante, continua y homogénea durante todo el horario de luz diurna.

En la Tabla 3 se expone un relevamiento técnico – constructivo de los dos locales seleccionados para el monitoreo lumínico del edificio de la FRN.

Tabla 3: Características de los locales de la FRN (UNAF) en los que se realizó el monitoreo lumínico: Aula 8 y Laboratorio. Esquemas de ubicación de los puntos para realizar las mediciones.

LOCALES MONITOREADOS	AULA 8	LABORATORIO DE FÍSICA Y QUÍMICA
Ubicación	planta alta	planta baja
Dimensiones	4,80mx6,70mx3,25m (altura)	7,20mx10,00mx3,25m. (altura)
Esquema de implantación de los locales seleccionados, en el edificio de la FRN		
Techos	Azotea losa alivianada de hormigón.	Entrepiso losa de hormigón armado
Sup. de techo expuesta al ext. (m ²)	32,16	-----.
Muros exteriores	Ladrillos huecos revocados exterior e interiormente. Espesor = 0,15m.	
Sup. de muro expuesta al exterior (m ²)	19,47	14,10
Carpinterías	Ventanas marco aluminio natural y vidrio simple, sin protección exterior.	Ventanas marco aluminio natural y vidrio simple, con parasolado exterior.
Orientación	Noreste - NE	Noroeste - NO
Sup. vidriada (m ²)	1,00	16,45
Luminarias		
Tipo	Fluorescentes de aplicar (0,32x1,24 m)	Fluorescentes de aplicar (0,32x1,24 m)
Cantidad	6	8
Distribución	Filas paralelas al pizarrón	Filas paralelas al pizarrón
PERÍODO DE MONITOREO LUMÍNICO: 15/12/2014 al 19/12/2014 y 29/06/2015 al 03/07/2015		
Ubicación de los puntos de medición, en planta de los locales		

Fuente: elaboración propia

5. Mediciones durante el período de verano: resultados

Los resultados obtenidos revelaron dos situaciones diferenciadas, en cuanto al nivel de iluminación registrado en los dos locales, especialmente en cuanto a la iluminación natural, dependiendo exclusivamente esta circunstancia de la orientación de las ventanas y al hecho de que las mismas cuenten o no con protección exterior para la radiación solar:

En el aula 8 (figura 5), considerando **la iluminación natural** solamente, se registraron picos máximos de entre 1200 y casi 1800 lux (los valores más altos de las series consideradas), solamente para uno de los puntos de medición: el A3 (ver tabla 3), que recibe radiación solar directa a través de las aberturas al NE. Esta situación acontece en horario matutino, entre las 8 y las 11 hs, en que la inclinación del sol hace que el ingreso de la radiación por las aberturas resulte muy directo en este punto (aunque dichas aberturas son muy pequeñas en relación a las

dimensiones del local -ver Tabla 3- pero no poseen protección exterior). Pero a partir de las 15 ó 16 hs. el nivel de iluminación natural decae abruptamente, para registrarse valores muy por debajo de lo requerido por la normativa: apenas se registran picos de 500 lux en los puntos A2 y A1, en tanto que en los restantes puntos las máximas obtenidas se acercan a los 300 lux. Cabe destacar que los niveles de iluminación para todos los puntos de medición, salvo el A3, resultan en promedio de 300 lux. Considerando la **iluminación natural y la artificial combinadas**, la situación se mantiene casi idéntica, aunque los valores se hallan levemente incrementados respecto a la situación de iluminación natural exclusiva. Igualmente, salvo los picos matutinos de excesivo deslumbramiento, la situación general se encuentra muy deficitaria respecto a los valores exigidos por normativa. Para ambas situaciones, la situación más deficitaria se da, lógicamente, para el día nublado y de abundantes lluvias (17/12), en que los valores de iluminación natural no superan los 100 lux, salvo para el punto A3 (alcanzan los 200 lux) que se superan levemente con el aporte de iluminación artificial.

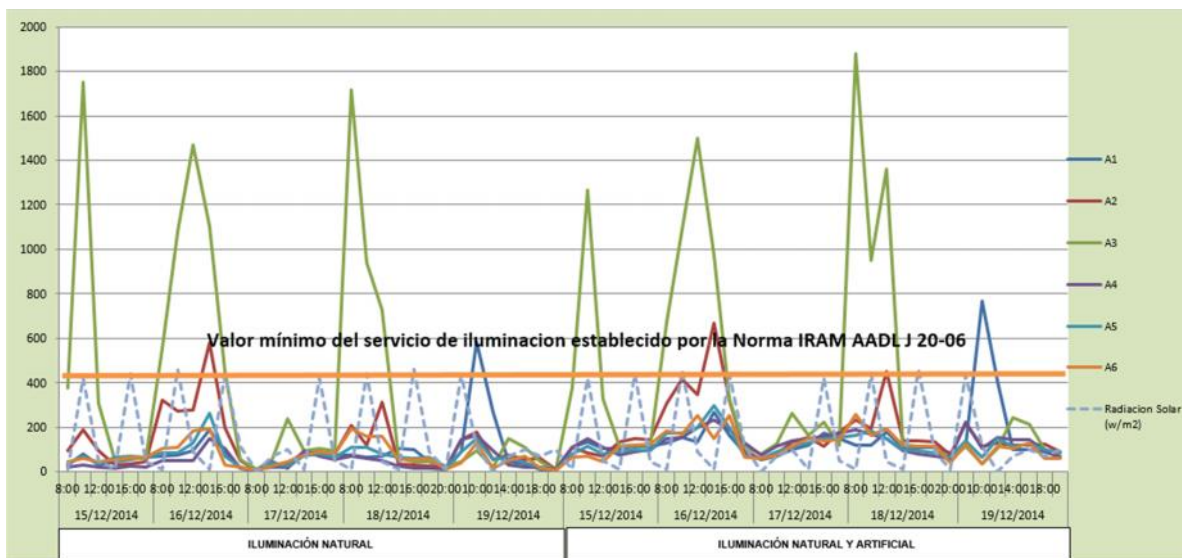


Figura 5: Resultados de las mediciones de verano en el Aula 8. Fuente: elaboración propia.

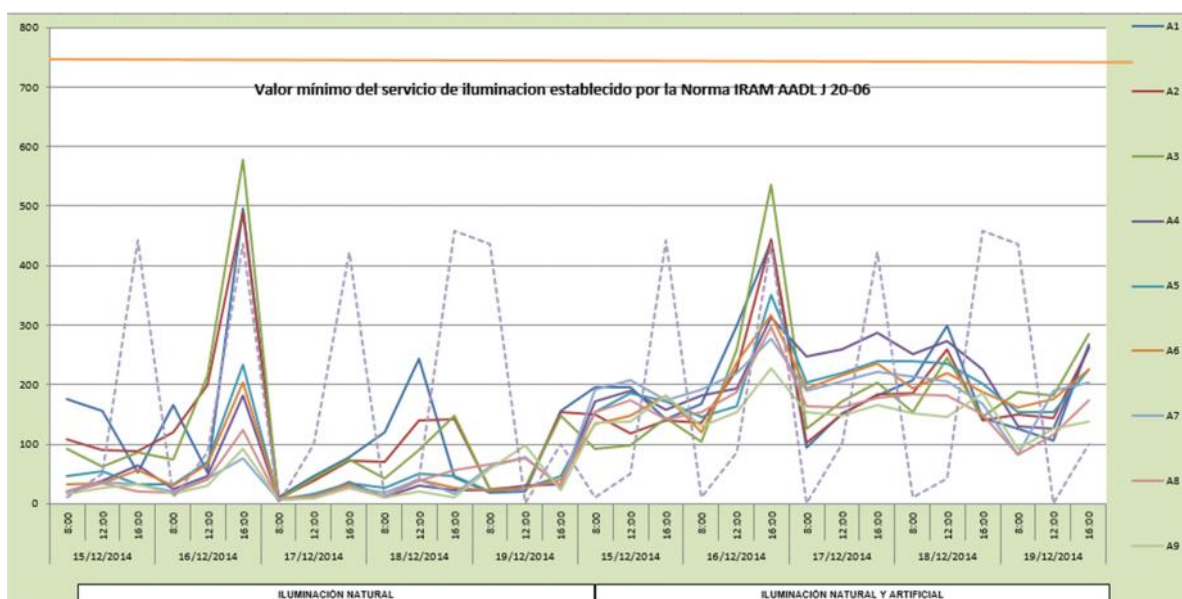


Figura 6: Resultados de las mediciones de verano en el Laboratorio. Fuente: elaboración propia.

Iluminaciones promedio: naturales y naturales + artificiales: La iluminación natural no llega a cumplir con el mínimo establecido por las Normas IRAM-AADL 20-04 y 20-06 en ninguno de los dos locales monitoreados, salvo durante los picos extremos registrados en ciertos puntos aislados de medición, que registraron ingreso de radiación solar directa puntual. **En el aula 8** (figura 7), los promedios de **iluminación natural** rondan los 100 lux, en tanto que para la **iluminación natural y artificial combinadas** apenas se acercan a los 170 lux, con las particularidades impuestas por el exceso de entrada de radiación directa focalizada y puntual (que genera un nivel interior de iluminación en el punto A3, de 680 lux) en horas de la mañana, a través de la pequeña ventana ubicada a aprox. 1,60m. de altura y orientada al NE, sin protección exterior de la radiación. Los niveles registrados son mayores en horas de la mañana, dada la orientación de la ventana al NE. Los promedios de **iluminación natural y artificial combinadas** rondan los 170 lux. **En el laboratorio** (figura 8), los promedios de **iluminación natural** rondan los 90 lux, en tanto que para la iluminación natural y artificial combinadas se duplican, con las particularidades impuestas por orientación de las ventanas al NO (que genera un nivel interior de iluminación mayor en los puntos ubicados en las proximidades de las ventanas: A1, A2 y A3) en horas de la tarde. Los promedios de **iluminación natural y artificial combinadas** rondan los 190 lux.

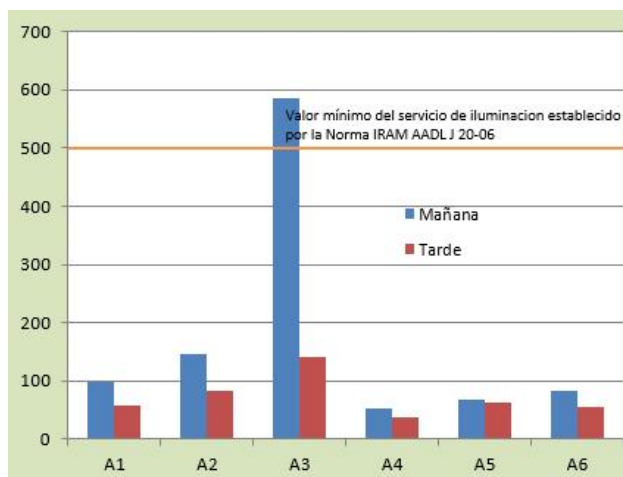


Figura 7: Niveles promedio de iluminación natural y artificial combinadas, en el Aula 8 en verano. Fuente: elaboración propia.

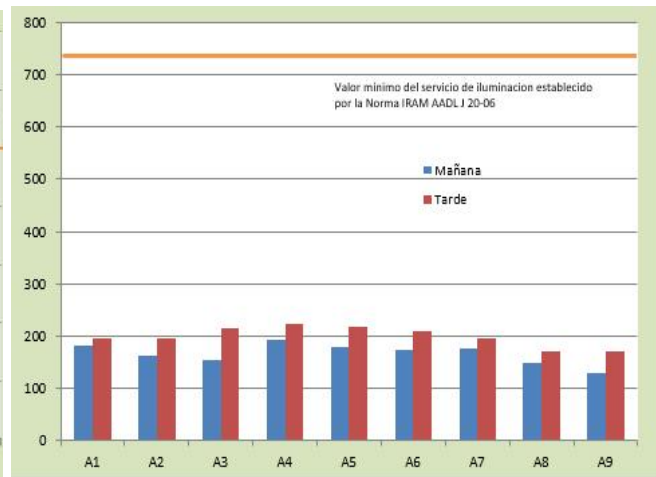


Figura 8: Niveles promedio de iluminación natural y artificial combinadas, en el Laboratorio en verano. Fuente: elaboración propia.

6. Mediciones durante el período de invierno: resultados

Los resultados obtenidos muestran, al igual que los de verano, dos situaciones diferenciadas en cuanto al nivel de iluminación registrado en los dos locales, según la orientación de las ventanas de los mismos, especialmente en cuanto a la iluminación natural. **En el aula 8** (figura 9), considerando la **iluminación natural** solamente, se registraron picos máximos de entre 450 y casi 830 lux (los valores más altos de las series consideradas, aunque equivalentes a la mitad de los valores obtenidos para el mismo punto y horario durante el monitoreo de verano), solamente para uno de los puntos de medición, el A3 (ver tabla 3), que recibe radiación solar directa a través de las ventanas al NE (sin protección exterior). Esta situación se verifica en horario matutino, entre las 10 y las 12 hs. (en que la inclinación del sol hace que el ingreso de la radiación por las aberturas resulte muy directo en este punto), y solamente para los días de cielo claro y sin nubosidad (29/06 al 30/06). Para los días de cielo nublado, con iluminación exterior más difusa (01/07 al 03/07), en cambio, resulta máxima la intensidad de iluminación en el punto A6 (en niveles casi iguales a los obtenidos en el punto A3 durante

los días de cielo claro). A partir de las 15 ó 16 hs. el nivel de iluminación natural decae abruptamente, en cualquier condición de cielo. En todos los casos, salvo por los picos máximos que registran en horario matutino los puntos A3 y A6 (ubicados en el frente del aula, en cercanías de las ventanas), en el resto de los puntos de medición se registran valores por debajo de los 500 lux requeridos por la normativa (entre 30 y 400 lux), correspondiendo los niveles más bajos (30 lux) a los puntos del fondo del aula (A1, A5 y A4), más alejados de las ventanas. Considerando la **iluminación natural y la artificial combinadas**, la situación se mantiene casi idéntica, aunque los valores se hallan levemente incrementados (unos 70 – 80 lux) respecto a la situación de iluminación natural exclusiva. Al igual que para verano, y salvo los picos matutinos de excesivo deslumbramiento, especialmente en el punto A3, la situación general se encuentra muy deficitaria respecto a los valores exigidos por normativa.

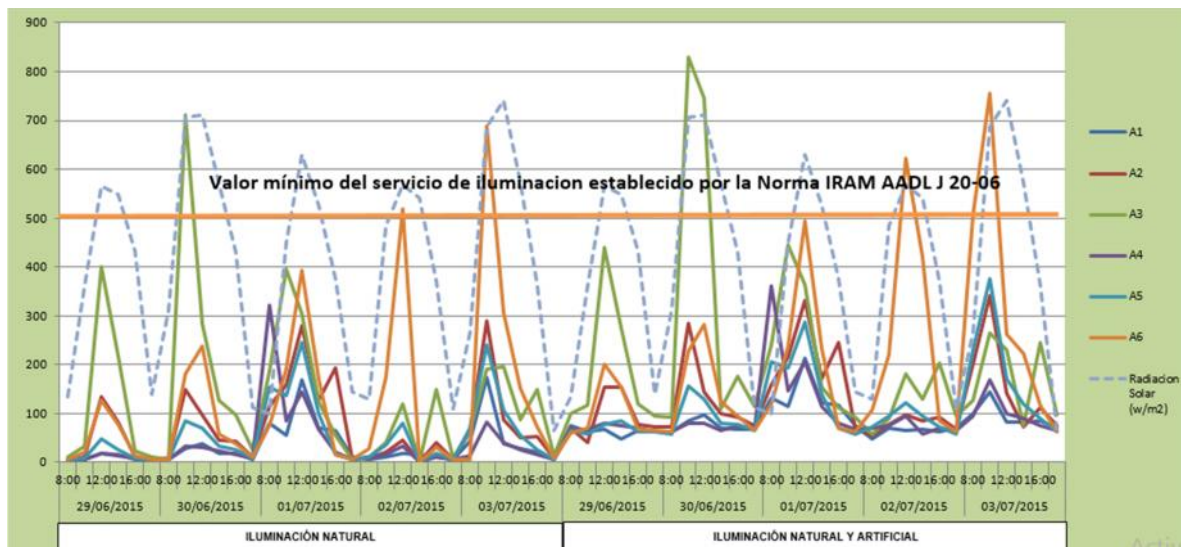


Figura 9: Resultados de las mediciones de invierno en el Aula 8.
Fuente: elaboración propia.

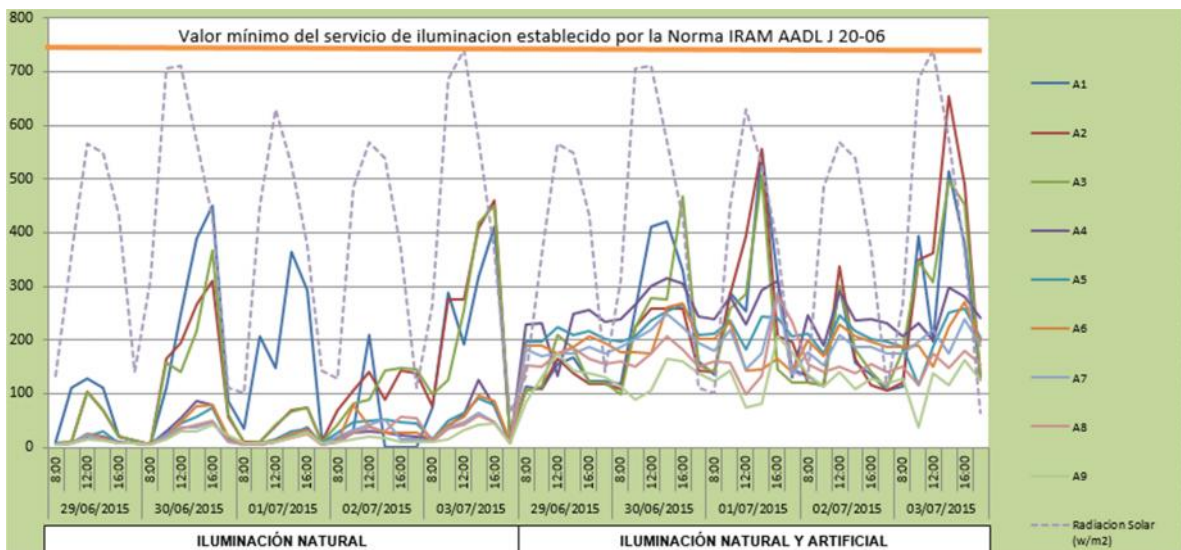


Figura 10: Resultados de las mediciones de invierno en el Laboratorio.
Fuente: elaboración propia.

En el laboratorio (figura 10), con ventanas al NO (protegidas externamente por parasoles) considerando la **iluminación natural** solamente, en términos generales, los niveles de

iluminancia se encuentran en valores muy inferiores a los establecidos por la Norma IRAM AADL J 20-06. Se llega a los 650 lux de máximas, en horas de la siesta (a partir de las 13 y 14 hs. aprox.), con valores medios que no superan los 150 lux. Los valores máximos se registran en los puntos A1, A2 y A3, ubicados junto a las ventanas (definen una línea paralela al muro que contiene las ventanas de este local, a unos 0,50 cm. de distancia del mismo: ver esquema en tabla 3). Considerando la **iluminación natural y la artificial combinadas** se produce una mejora por el incremento general y uniforme de los valores medios registrados, que alcanzan así los 250 lux.

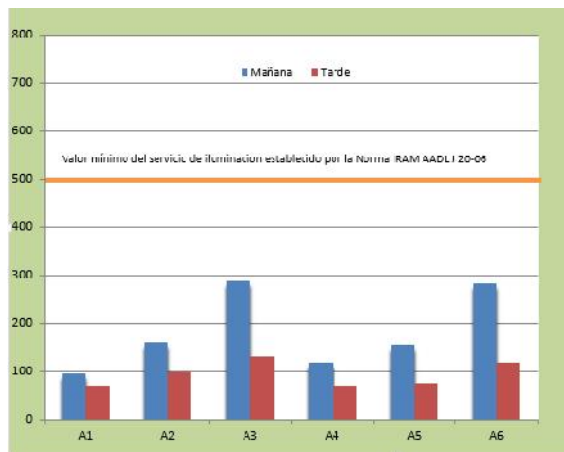


Figura 11: Niveles promedio de iluminación natural y artificial combinadas, en el Aula 8 en verano. Fuente: elaboración propia.

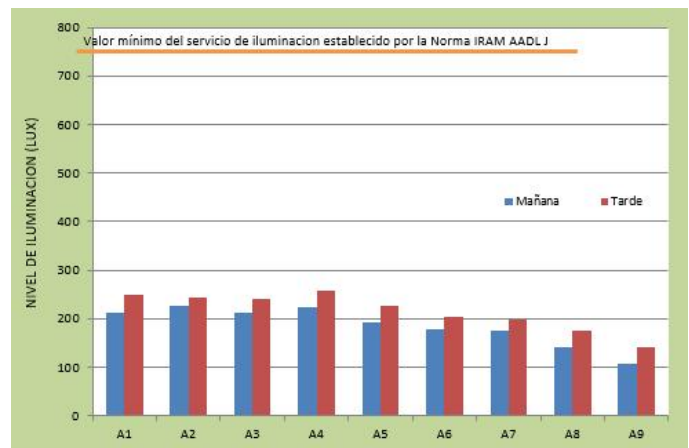


Figura 12: Niveles promedio de iluminación natural y artificial combinadas, en el laboratorio en verano. Fuente: elaboración propia.

Iluminaciones promedio: naturales y naturales + artificiales: La iluminación natural no llega a cumplir con el mínimo establecido por las Normas IRAM-AADL 20-04 ni 20-06 en ninguno de los dos locales monitoreados (figuras 11 y 12). **En el aula 8**, los promedios de **iluminación natural** (que aumentan en el horario matutino, por la orientación de las ventanas de este local al NE), rondan los 100 lux por la mañana y los 40 lux por la tarde, en tanto que se duplican para la **iluminación natural y artificial combinadas** (figura 11), alcanzando los 200 lux por la mañana y los 80 lux por la tarde, con las particularidades impuestas por el exceso de entrada de radiación directa focalizada y puntual (que genera un nivel interior de iluminación en el punto A3, de 280 lux) en horas de la mañana, a través de la pequeña ventana ubicada a aprox. 1,60m. de altura y orientada al NE, sin protección exterior de la radiación. **En el laboratorio** (figura 12), los promedios de **iluminación natural** rondan los 40 lux, en tanto que para la iluminación natural y artificial combinadas se duplican, con las particularidades impuestas por orientación de las ventanas al NO (que genera un nivel interior de iluminación mayor en los puntos ubicados en las proximidades de las ventanas: A1, A2 y A3) en horas de la tarde. Los promedios de **iluminación natural y artificial combinadas** rondan los 110 lux, casi la mitad de los obtenidos para verano.

7. Conclusiones

Habiéndose realizado un monitoreo de las condiciones lumínicas en dos locales del edificio sede de la Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Nacional de Formosa (FRN – UNaF), durante un período del mes de Diciembre de 2014 y otro período de los meses de Junio-Julio de 2015, se han obtenido resultados que determinan un **desempeño lumínico deficiente en dichos locales, tanto referido a la iluminación natural como a la artificial**

combinada con la natural, según el rango impuesto por normativa IRAM AADL J 20-04, vigente para edificios educativos.

La iluminación natural, que resulta altamente dependiente de la orientación de las áreas acristaladas, no resulta uniforme en los dos locales monitoreados (ni para el período cálido ni para el frío, según los resultados obtenidos), ya que en todos los casos se verifican niveles muy superiores en las cercanías a los aventanamientos, que disminuyen bruscamente al alejarse de los mismos. Cuando la iluminación natural y la artificial son utilizadas de manera simultánea, el nivel de iluminación general de los locales resulta sólo levemente superior, y la uniformidad de iluminación en los locales mejora.

Se registran problemas de deslumbramiento en puntos específicos (como el punto A3, del Aula 8, que presenta entrada directa de radiación en horas de la mañana, y los puntos A1, A2 y A3 del Laboratorio, ubicados junto a las ventanas, que reciben mucha radiación en horas de la tarde), tanto en invierno como en verano. En general, los niveles de iluminancia promedio resultan, en invierno, un 35 a 45% menores respecto a los de verano. Este diagnóstico está orientando actualmente la propuesta de medidas de adecuación.

Se verifica el desaprovechamiento de las posibilidades que brinda la iluminación natural y se evidencia la necesidad de implementar medidas de mejoramiento, a través del adecuado planteo de las aberturas de los locales y de sus dispositivos de regulación - protección.

El desarrollo del diagnóstico de las condiciones de iluminación interior de algunos sectores de la Facultad de Recursos Naturales de la UNAF permitió el conocimiento de las condiciones reales en la que se encuentran los mismos. Ello permite empezar a plantear propuestas de mejoramiento respecto al aprovechamiento de la iluminación natural, en función del tipo de tarea que se desarrolla en las aulas y del nivel de exigencia visual que tienen sus usuarios.

Las propuestas de mejoramiento de las aberturas, y la incorporación de mecanismos orientadores y difusores de la luz permitirían elevar el nivel de iluminación natural de las aulas, y también reducir el consumo de energía eléctrica para su acondicionamiento (tanto por el menor uso de iluminación artificial, como por la menor necesidad de climatización artificial electromecánica en verano, ante un control del ingreso de excesiva radiación solar por las aberturas).

8. Eventuales propuestas de mejoramiento

Las actividades que se desarrollan en edificios con actividades educativas, como el de la Facultad de Recursos Naturales de la UNAF, requieren de una adecuada iluminación: niveles aceptables de iluminación natural y obstrucción de la radiación solar directa sobre los planos de trabajo. En virtud de ello y según los resultados obtenidos a través de las mediciones y diagnóstico efectuados, se plantean algunas pautas para la eventual adecuación de los dos locales monitoreados, según los problemas específicos detectados. No obstante, algunas pautas podrían ser de aplicación general a otras situaciones de otros locales del edificio.

- **Falta de uniformidad en la iluminación natural:**

La Norma IRAM-AADL J 20-02 (*Iluminación Natural en Edificios. Condiciones generales y requisitos especiales*), establece que *en los locales iluminados lateralmente* (como el Laboratorio), *cuando la uniformidad no sea la adecuada, podrá mejorarse mediante la elevación el borde superior de la ventana; pintando con colores claros el local* (condición que cumplen ambos locales monitoreados, que tienen sus paredes y cielorrasos pintados de colores claros); *o utilizando elementos orientadores y difusores de la luz* [5 c].

Propuesta 1: elevación del borde superior de la ventana (y/o descenso del borde inferior -para el caso del aula 8-): La Norma IRAM-AADL J 20-04 (*Iluminación en escuelas. Características*) establece, en lo relativo al diseño de ventanas que, en general, para cualquier proyecto, es recomendable que las áreas vidriadas sean continuas y se extiendan hasta el cielorraso en altura y a lo largo de los muros que la contienen. También establece que la colocación del borde superior (o dintel) de las ventanas, tan cerca del cielorraso como sea posible, incrementa la superficie reflectante del cielorraso e, indirectamente, disminuye las áreas más oscuras alrededor de las mismas. Ubicando el tope superior del área vidriada a una altura sobre el nivel del piso igual, por lo menos, a la mitad de la medida del local perpendicular a la pared que contiene a la ventana, se obtiene una mayor uniformidad en la iluminación.

Las alturas actuales de los dinteles de las ventanas del **aula 8** (que se ubican a aproximadamente a 2,60 metros sobre el nivel de piso terminado), según esta prescripción, resultarían adecuadas (la profundidad del aula 8 es de 4,00 m., con lo que la altura de dintel no debería ser inferior a 2,00 m., cosa que se cumple). Las alturas actuales de los dinteles de las ventanas del **laboratorio** (que se ubican a aproximadamente a 2,00 m. sobre el nivel de piso terminado), según esta prescripción, resultarían susceptibles de elevarse (el ancho del laboratorio es de 4,50 m., con lo que la altura de dintel debería estar a 2,25 m.).

En el **aula 8** un posible mejoramiento se lograría a través de aumentar o extender las ventanas a todo el ancho disponible de la pared del aula. Si fuera posible, también sería oportuno lograr un descenso de los bordes inferiores de estas ventanas, ya que las mismas se ubican recién por encima del pizarrón del aula. Ante esta situación, también se plantea la posibilidad de un cambio en la disposición del mobiliario, para que el pizarrón no se ubique en la misma pared de los aventanamientos, sino en alguna de las paredes laterales. Esto daría la posibilidad de bajar el nivel de las aberturas en este local, y se evitarían también los deslumbramientos que experimentan los usuarios de esta aula, por fijar la vista en un pizarrón que se ubica a “contraluz” respecto a la procedencia de la luz natural.

Propuesta 2: otro recurso que podría ser empleado para mejorar el ingreso de iluminación natural en los locales monitoreados. y mejorar también su uniformidad, son los distintos elementos orientadores y difusores de la luz, como las “bandejas” o “estantes de luz” (figura 13), con una superficie altamente reflectiva, que se colocan a nivel del paño superior de la abertura, por encima del dintel de las ventanas. Dichas bandejas o estantes generarían una mejora en el nivel de iluminación, con mayor uniformidad y decrecimiento gradual, a lo largo tanto del aula 8 como del laboratorio.



Figura 13: aventanamiento sin bandeja de luz (izq.) y con bandeja o estante de luz (der.).

- **Incidencia de luz solar directa:**

La radiación solar directa requiere la mediación del diseño para su uso como fuente de iluminación en condiciones de confort interior. La eliminación de la luz solar por desconfort térmico-lumínico, produce la anulación del aporte de luz natural y genera espacios sombríos que requieren de energía eléctrica para la iluminación, desperdiciando la disponibilidad de luz

natural característica de la región [6]. Para que los sistemas de aventanamientos sean eficientes, deben controlar el ingreso de radiación solar al interior para evitar el deslumbramiento [7].

Las soluciones para lograr un adecuado control del ingreso solar y a su vez una iluminación natural correcta van desde complejas tecnologías de vidriados especiales selectivos a los ángulos de incidencia de la radiación y capaces de iluminar con un elevado control del calor radiante [8 a]. Muchas soluciones son inaplicables, considerando la situación económica de nuestro país, debiéndose adoptar sistemas simples, preferiblemente de fácil manejo o fijos, encontrándose una enorme variedad de protecciones y sistemas [8 b].

El uso de ventanas simples, tal como es lo habitual en las escuelas regionales, quizá con celosías o parasoles metálicos (como los del laboratorio) como único control de ingreso de radiación solar, que permiten un control del tipo “todo – nada”, se manifiestan como inadecuadas. La utilización de bandejas de luz para facilitar el ingreso indirecto de iluminación y radiación se manifiestan como muy eficaces [8 c].

Los autores [8 c] recomiendan utilizar parasoles diferenciados y especializados para cada orientación:

- Norte: lamas horizontales a 45°.
- Sur: casetonado.
- Este y Oeste: lamas horizontales a 45°.

En la situación que se deba utilizar el mismo parasol para todas las orientaciones se recomienda el parasol de lamas horizontales inclinadas 45° ya que su eficiencia es alta para todo el año y para verano. Es imprescindible tener en cuenta que, si bien la presencia de parasoles es necesaria para evitar la incidencia de radiación solar directa, la misma disminuye la iluminación natural en un valor promedio del 40% respecto a la situación sin parasol.

9. Referencias y bibliografía

[1] PIVIDORI, V. et al (2013). Condiciones de iluminación natural y artificial en el edificio de la Facultad de Arquitectura de la UNNE. Monitoreo para su diagnóstico según normativa vigente. *Actas de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente 2013 (ASADES)*. Vol. 1, pp. 05.11 - 05.20.

[2] ALDAR S.A. *Atlas de Energía solar de la República Argentina* (elaborado por Hugo Grossi Gallegos y Raúl Righini, DEL Grupo de Estudios de la Radiación Solar – GERSolar- de la Universidad Nacional de Luján). Disponible en <http://www.aldar.com.ar/novedades-atlas-solar.php>. Consultado el 09/05/16.

[3] NORMA IRAM 11603 (2012). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Buenos Aires, Argentina.

[4 a] MARTINA, P. et al (2014). Mediciones de algunos parámetros higrotérmicos y ambientales en el edificio de la Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Nacional de Formosa. *Revista del Instituto de Matemática*, N° 19, Año 10. Facultad de Ingeniería - UNNE. ISSN 1850-9827. Pp. 8-17.

[4 b] MARTINA, P. et al (2015). Niveles de iluminación en edificios de la Universidad Nacional de Formosa. monitoreos y diagnóstico según normativa IRAM-AADL. *Libro del VII*

Congreso Regional de Tecnología de la Arquitectura. (CRETA). ISBN N°978-987-29907-4-9. Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional del Nordeste.

[5 a] NORMA IRAM-AADL J 20-06 (1972). *Luminotecnia. Iluminación artificial de interiores. Niveles de iluminación.* Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL). Buenos Aires, Argentina.

[5 b] NORMA IRAM-AADL J 20-04 (1974): *Iluminación en escuelas. Características.* Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL). Buenos Aires, Argentina.

[5 c] NORMA IRAM-AADL J 20-02 (1969). *Iluminación Natural en Edificios. Condiciones generales y requisitos especiales.* Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL). Buenos Aires, Argentina.

[6] PATTINI, A. et al. (2009). Elementos de control de luz solar directa en fachadas vidriadas de edificios no residenciales de Ciudad Oasis. Rediseño para aulas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.* Vol. 13, Argentina. ISSN 0329-5184.

[7] BOUTET, M.L. et al (2010). Evaluación de las condiciones de iluminación natural y artificial existentes en el jardín materno infantil de la Universidad Nacional Del Nordeste. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.* Vol. 14, Argentina. ISSN 0329-5184, p 05.25.

[8 a] REPPPEL, J. y EDMONDS, I.R. (1998); en LEDESMA, S.L. et al., (2004). Evaluación comparativa de eficiencia de parasoles y su incidencia en la iluminación natural de aulas en San Miguel de Tucumán. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.* Vol. 8, N° 1. Argentina. ISSN 0329-5184.

[8 b] SNACK, A. et al. (2001); en LEDESMA, S.L. et al. (2004). Evaluación comparativa de eficiencia de parasoles y su incidencia en la iluminación natural de aulas en San Miguel de Tucumán. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.* Vol. 8, N° 1. Argentina. ISSN 0329-5184.

[8 c] LEDESMA, S.L. et al., (2004). Evaluación comparativa de eficiencia de parasoles y su incidencia en la iluminación natural de aulas en San Miguel de Tucumán. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.* Vol. 8, N° 1. Argentina. ISSN 0329-5184.

EL SOFTWARE “THERM”, v. 6.3 APLICADO AL ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE PUENTES TÉRMICOS EN EDIFICIOS DEL NEA CONSTRUIDOS MEDIANTE SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN NO CONVENCIONAL

Manuel Venhaus Held, Becario de Investigación – SGCyT – FAU – UNNE,
manu_ven@hotmail.com

Herminia M. Alías, Directora de Beca de Pregrado SGCyT – UNNE – Profesora Adjunta
Cátedra Estructuras II – FAU – UNNE, heralías2001@yahoo.com

Guillermo J. Jacobo, Director de Proyecto de Investigación SGCyT – UNNE – Profesor
Titular Cátedra Estructuras II – FAU – UNNE, gjjacobo@hotmail.com

Resumen— El trabajo tiene por objeto analizar el comportamiento higrotérmico de las envolventes constructivas de edificios en el Nordeste Argentino (NEA) materializados mediante sistemas constructivos que emplean materiales prefabricados y mano de obra especializada, atendiendo particularmente al impacto que tienen los puentes térmicos en este comportamiento. El objetivo es desarrollar criterios de optimización del desempeño energético de estas envolventes.

Muestras de tipos de construcciones no convencionales más usuales en el NEA fueron evaluadas con procedimientos de cálculo de las Normas IRAM en su serie 11.600. Y mediante simulaciones realizadas con el software THERM, un programa de cálculo de transmisión de energía en dos dimensiones, en su versión 6.3. A partir del diagnóstico energético obtenido de estas evaluaciones pudieron plantearse criterios de optimización de las soluciones constructivas que fueron reevaluadas, estableciendo paralelismos entre su situación original y optimizada.

A diferencia de la Normativa vigente, el software THERM calcula la Transmitancia Térmica Total de los modelos dibujados. Por ello posibilita la obtención de un Coeficiente Ponderado de Transmitancia que incorpora Muro Opaco y Puente Térmico y a partir de la graficación del flujo de calor a través del cerramiento, reconocer fácilmente los puntos más críticos, para concentrar las acciones de optimización en ellos. THERM resulta por lo tanto un complemento a la normativa muy útil por la valiosa información gráfica que aporta.

Palabras clave— *Software, Prefabricación, Confort Higrotérmico, Transmitancia Térmica.*

1. Introducción

Para la clasificación de Sistemas Constructivos en Tradicionales o Convencionales y No Tradicionales o No Convencionales, pueden emplearse variados criterios. Por ejemplo, diferenciarlos en base a la generalización de su empleo o considerando variables como las herramientas, la mano de obra y los materiales empleados por cada sistema. La definición de construcción “convencional” y “no convencional” en definitiva depende del contexto geográfico e histórico en que se desarrolla el sistema. Pudiendo ser una misma técnica tradicional en una región y no tradicional en otra, o transformarse en tradicional con el paso

del tiempo. A los fines de este trabajo y en concordancia al consenso generalizado sobre la igualdad de términos, se considera a la construcción "no convencional" como aquella "industrializada". Es decir, la que emplea materiales prefabricados elaborados en serie con maquinaria automatizada y que por ello requiere equipos y mano de obra especializada o profesional para su manipulación. Entendiéndola opuesta a la construcción artesanal, reconocida como tradicional. No obstante, debe reconocerse que un solo sistema constructivo no siempre define a la edificación en su totalidad, siendo más común que el conjunto edificado resulte en una combinación de sistemas constructivos diferentes. Para el presente artículo se centra el estudio en las envolventes perimetrales, en especial muros exteriores, de edificios materializados mediante sistemas constructivos no convencionales

Las edificaciones son responsables de alrededor del 40% del consumo de energía en la Argentina, y de este consumo el mayor gasto se debe a la climatización de los ambientes, es decir a su calefacción y refrigeración. Por otra parte, la mitad de esta energía es ganada o perdida a través de los cerramientos opacos.

En otro orden de cosas, la implementación de la construcción no convencional, si bien no muy frecuente en el medio regional del Nordeste Argentino, se ha incrementado notablemente en los últimos años. En este contexto, la estructura portante de los edificios materializados con técnicas industrializadas y entramados en seco, constituye generalmente importantes puentes térmicos crónicos en diferentes puntos de la construcción. Los puentes térmicos son definidos por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación - IRAM [1] como "*heterogeneidades de un elemento constructivo que forman parte de la envolvente (pared, piso, techo, etc.) de un edificio que ocasionan mayor flujo de calor a través de ésta*". Considerando que el clima de la zona bioambiental I, subzona b, que establece la norma IRAM 11.603 para las ciudades de Resistencia y Corrientes, capitales de las Provincias de Chaco y Corrientes respectivamente, es muy cálido y húmedo, con altas temperaturas en verano e inviernos moderados, resultaría muy importante -y necesario- aumentar la eficiencia energética de los edificios a través del mejoramiento del desempeño higrotérmico de sus envolventes.

En este marco situacional, el presente trabajo plantea analizar, evaluar, diagnosticar y proponer criterios para mejorar térmicamente las envolventes exteriores de edificios materializados mediante sistemas de construcción no convencional en los principales centros urbanos del NEA, prestando particular atención al impacto de los puentes térmicos en su comportamiento general, para contribuir con dichas envolventes a lograr que los espacios interiores que ellas albergan reúnan condiciones higrotérmicas más cercanas a las del confort, y por lo tanto demanden un uso menos intensivo de dispositivos electromecánicos de climatización artificial, disminuyendo el consumo de energía eléctrica.

2. Materiales y Métodos

El trabajo se inició por relevar y estudiar los principales tipos y subtipos de construcciones no convencionales y los materiales empleados para su construcción. Se seleccionó y describió una muestra de los cinco sistemas constructivos no convencionales más empleados en el NEA.

Esta muestra fue, en primer lugar, analizada en base a la Normas Técnicas Vigentes en los principales centros urbanos de la región. Se evaluó el cumplimiento de las condiciones técnico - constructivas que los Reglamentos Generales de Construcción y los Códigos de Edificación locales y regionales establecen para la construcción no convencional. Para ello se destacaron los principales criterios establecidos en estas normas y se sistematizó su

evaluación a fin de poder someter a todos los sistemas constructivos a las mismas consideraciones.

Seguidamente, los sistemas constructivos reconocidos fueron sometidos a evaluaciones propuestas por la Normativa de Habitabilidad del Instituto Argentino de Normalización y Certificación, específicamente las Normas IRAM de la serie 11.600. En primer lugar, se determinó el Coeficiente de Transmitancia Térmica (K) para cada sistema de acuerdo a los métodos de cálculo del aislamiento térmico de edificios propuestos por la Norma IRAM 11.601. El método procede de manera individualizada en el cálculo de la Transmitancia Térmica Lineal de la porción opaca del muro " K_{mo} " y de la porción de las heterogeneidades " K_{pt} " (puentes térmicos), para determinar, a partir de la relación entre los valores (K_{pt}/K_{mo}), la aptitud del cerramiento. La misma se logra si la transmitancia térmica de un puente térmico no supera el 50% del valor de transmitancia térmica del muro opaco. En casos especiales, en que la distancia entre los puentes térmicos lineales es menor a 1,70 m., caso general de los sistemas constructivos no convencionales, la tolerancia se reduce al 35%. En segunda instancia se realizó una consideración del Riesgo de Condensación Superficial e Intersticial en la estación de invierno de las distintas soluciones tecnológicas de acuerdo a la metodología propuesta por la Norma IRAM 11.625. Para estos cálculos se consideraron las condiciones de diseño para invierno en la Ciudad de Resistencia, es decir la temperatura exterior de diseño ($-1,8^{\circ}\text{C}$), la temperatura ideal de diseño interior determinada por la Norma en 18°C y una Humedad Relativa Interior de 75%. Además, se consideraron los coeficientes de transmitancia térmica (K) obtenidos anteriormente y la resistencia al paso de vapor de agua de cada una de las capas constitutivas.

Los cerramientos - tipo considerados fueron finalmente analizados mediante Simulaciones desarrolladas por el software THERM, en su versión 6.3. Éste es un programa de cálculo de calor en régimen estacionario que resuelve numéricamente la ecuación de transmisión de energía en dos dimensiones a través de la sección transversal de elementos de construcción, como ventanas, paredes, cimientos, techos y puertas [2]. Fue desarrollado por el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley de los Estados Unidos y se encuentra disponible para su descarga gratuita. Como resultado de las simulaciones, aporta valores numéricos de transmitancia térmica, denominados U-factors, e información gráfica como Isotermas (Isotherms) o líneas de igual temperatura, los Vectores de Flujo (Flux Vectors) o caminos preponderantes seguidos por el calor y la Transmisión del Flujo de Calor mediante Escala de Colores (Color Infrared). En primer lugar se dibujaron las geometrías de la sección transversal de los cerramientos tipológicos en THERM con la incorporación de plantillas .DFX de base elaboradas con el software de diseño AutoCADTM. A cada geometría luego se le asignó el material correspondiente, extraído de una Librería de Materiales creada con los mismos valores de conductividad térmica empleados en los cálculos de acuerdo a IRAM. Las simulaciones se realizaron considerando una situación de verano, que afecta en mayor medida al NEA, con un flujo de calor desde el exterior hacia el interior, en sentido horizontal por haber estudiado en detalle los cerramientos verticales. De acuerdo a estas premisas se determinaron las Condiciones de Contorno o Boundery Conditions del modelo simulado, aplicando para el exterior una Temperatura Máxima de Diseño establecida por la Norma IRAM 11.603 en $39,8^{\circ}\text{C}$ para Resistencia y una Conductancia de la Capa Superficial de Aire de $25,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, correspondiente a los $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ de Resistencia Superficial Exterior (R_{se}). Y como condiciones interiores se adoptó una Temperatura Ideal de Diseño Interior de 25°C para Verano y $7,69 \text{ W/m}^2\text{K}$ como Conductancia de la Capa Superficial de Aire, equivalente a los $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ de Resistencia Superficial Interior (R_{si}) establecida por IRAM. Determinados todos estos parámetros se procedió a la simulación de los cinco sistemas constructivos no convencionales seleccionados. El software THERM calcula la transmitancia

térmica total del modelo dibujado. Esto implica que para poder establecer las relaciones entre muro opaco y puente térmico y determinar la aptitud del cerramiento tal como lo realiza la Norma IRAM, deban simularse ambas porciones en modelos separados. Desde el punto de vista gráfico, los resultados de este modo pierden riqueza debido a la transmisión homogénea de calor que se produce. Si, en cambio, se simula en un mismo modelo el comportamiento de la sección transversal del sistema constructivo incorporando tanto muro opaco como puente térmico, pueden obtenerse gráficos que muestran de forma clara la influencia de las heterogeneidades en la transmisión de calor a través de los cerramientos - tipo. De esta manera es posible obtener un Coeficiente Ponderado de Transmitancia que representaría la "transmitancia promedio" del cerramiento, teniendo en cuenta la importante presencia de puentes térmicos en la construcción no convencional. Debido a estas cuestiones se simuló con THERM 6.3 para cada sistema constructivo un modelo de muro opaco aislado, otro únicamente con la porción de puente térmico y un último que incorpora ambos.

A partir de un diagnóstico higrotérmico y energético realizado con los resultados de los análisis descriptos, se propusieron medidas de optimización del diseño de los sistemas constructivos, en la búsqueda de mejorar sus comportamientos frente a la transmisión del calor y en especial atenuar el efecto de los puentes térmicos.

3. Resultados y Discusión

3.1 Muestra Representativa

En cuanto a los sistemas constructivos no convencionales de uso más habitual en el NEA, se detectó, por un lado, el Sistema de Grandes Paneles, con paneles transversales de carga de Hormigón Armado espaciados a 3,00 m., y paneles rigidizantes en la parte central de los edificios [3]. Las terminaciones interiores se materializan con placas de roca de yeso sobre estructuras metálicas. Por otro lado, se reconoció el uso de Sistemas Livianos con Entramado, tanto de Madera como Metálico. Los mismos están formados por la combinación de elementos portantes ligeros, comúnmente denominados soleras y montantes, que se ubican cada 0,40 a 0,60 m. para formar bastidores portantes. En el primer caso, también llamado Balloon Framing, las piezas son de madera y en el segundo, comúnmente denominado Steel Framing, se compone de perfiles metálicos galvanizados conformados en frío con forma de "C" o "U". Los bastidores se completan con elementos de cerramiento, como tablas de machimbre o tableros OSB, y de revestimiento, empleadas como acabado y protección. También se detectó la aplicación de Sistemas Livianos de Paneles Prefabricados, paneles del tipo sándwich con estructura de madera que componen los tabiques interiores, exteriores y cielorrasos. La estructura interna de los paneles se materializa con bastidores de madera de pino y su terminación interior es de placas de roca de yeso. La terminación exterior varía de acuerdo a la marca comercial, materializándose por lo general con placas cementicias de alto impacto, pudiendo incluso conformarse con mamposterías, dando una imagen más tradicional. Por último, se analizó el Sistema de Paneles Aligerados con Núcleo de Poliestireno Expandido y Malla Electro-soldada Espacial. Este tipo de sistema industrializado abierto utiliza paneles de poliestireno expandido y mallas de acero prefabricados en forma modular que luego reciben la aplicación a presión de un revoque estructural de hormigón en obra, que provee tanto estructura, protección y terminación.

Los sistemas constructivos reconocidos, en general, se conforman por elementos multicapas que incorporan en su interior la aislación hidráulica, térmica y acústica. Dada la naturaleza constructiva de los mismos, la repetición de piezas estructurales para la conformación de los bastidores y estructuras portantes, interrumpe por lo general el desarrollo de las aislaciones

térmicas en las multicapas, conformando las heterogeneidades reconocidas como puentes térmicos.

3.2 Verificaciones y Simulaciones

Sobre el estudio de la Normativa Técnica Vigente en la región puede mencionarse que la misma se avoca principalmente a la reglamentación del diseño de ambientes (dimensiones, iluminación, ventilación), la imagen de las obras y la conformación urbana que surge del conjunto de ellas. En cuanto a sistemas o materiales constructivos no convencionales presentan una definición, clasificación y prescripción escasa y poco detallada. El Reglamento General de Construcciones de la Municipalidad de Resistencia y el Código de Edificación de la Ciudad de Corrientes contemplan el uso de variados sistemas de construcción, siempre que los mismos estén aprobados por la Subsecretaría de Vivienda y Desarrollo Ambiental de la Nación. La misma otorga el Certificado de Aptitud Técnica (C.A.T.) a todo material, elemento o sistema constructivo que considere "no tradicional". Para la obtención de la certificación, además de especificaciones sobre materias primas, fabricación y aplicación de los materiales, componentes o sistemas, se exige la presentación de ensayos de conductividad térmica y resistencia al paso de vapor de agua. El Código de Edificación de la Municipalidad de Posadas, Provincia de Misiones, por su lado establece un mecanismo propio de certificación de aptitud técnica de materiales, equipos y sistemas constructivos no convencionales. El Reglamento General de Construcciones de la Ciudad de Formosa, capital de homónima Provincia, es el que menor mención hace a la construcción no tradicional, aunque contempla la construcción de estructuras de hormigón armado, metal o madera con las pertinentes protecciones. La determinación de la pertinencia de cada uno de los sistemas o materiales de construcción no puede realizarse en forma general y cada caso debe ser presentado en particular ante los organismos municipales o nacionales correspondientes para su evaluación. Sin embargo, es importante destacar que las distintas certificaciones de aptitud, tanto nacionales como locales, tienen una validez por general de tres años, lo cual obliga a su renovación periódica, garantizando la revisión y optimización constante de los sistemas constructivos.

De acuerdo a los valores de transmitancia térmica obtenidos de la aplicación de la Normativa de Habitabilidad Vigente, el 80% de los sistemas constructivos analizados alcanza para verano el Nivel A, es decir el recomendado por la Norma IRAM 11.605 para las Zonas Bioambientales I y II, en que se inscribe el NEA. Esto significa que su Coeficiente de Transmitancia Térmica (K) es menor a $0,54 \text{ W/m}^2\text{°C}$. El restante 20% registra valores dentro del Nivel B (medio), no encontrándose ninguno dentro del nivel mínimo o por debajo del límite mínimo establecido. Esto demuestra una aislación térmica muy satisfactoria de las construcciones no convencionales para las condiciones de verano, de mayor incidencia en la región. Para la situación de invierno, de menor importancia dado el clima característico del NEA, el 40% cumple con el Nivel A y el 60% restante, con el Nivel B. Si de la aptitud respecto a los puentes térmicos se trata, el 80% de ellos resulta insatisfactorio, es decir que la transmitancia térmica del puente térmico supera el 35% de tolerancia (según norma) respecto al muro opaco, registrándose valores entre 300% y 750% mayores. Se nota aquí la falta de consideración al momento de diseñar los sistemas constructivos de este flagelo que reduce de manera considerable el comportamiento higrótérmico de los mismos. Si se observa que el sistema de grandes paneles es el único que resulta apto y que éste asimismo es el único que se encuadra dentro del Nivel B para verano, puede reconocerse la tendencia de disminución de la aptitud de los sistemas constructivos no convencionales respecto a los puentes térmicos cuanto menor es la transmitancia térmica de sus muros opacos. Esto debido a que los materiales aislantes térmicos reducen en gran medida la transmitancia térmica, mientras para los puentes térmicos se emplean materiales con altos coeficientes de conductividad térmica. Y

que en el afán de aumentar la aislación térmica y dada la naturaleza constructiva de estas técnicas, que deja importantes espacios en los intersticios del entramado estructural capaces de ser rellenados con material aislante, generalmente se pasan por alto las consideraciones respecto a los puentes térmicos.

Dados los buenos valores de resistencia térmica que registran los diferentes cerramientos tipológicos, ninguno de ellos presenta Riesgo de producir Condensaciones Superficiales en condiciones de invierno de acuerdo a lo establecido por la Norma IRAM 11.625. En relación al Riesgo de Condensación Intersticial, sin embargo, puede reconocerse una segunda tendencia en el comportamiento higrométrico de los cerramientos estudiados. La condensación intersticial de vapor de agua por lo general se produce a partir del material aislante hacia las capas constitutivas exteriores del cerramiento. Esto se debe a que los diferentes materiales aislantes térmicos reducen la temperatura de bulbo seco de manera drástica, pero dejan pasar con facilidad el vapor de agua, provocando la condensación. La aparición de agua en las capas intersticiales de los cerramientos edilicios altera sus propiedades físicas y químicas, poniendo en riesgo su durabilidad, comportamiento mecánico e higrotérmico.

Las Simulaciones desarrolladas con el Software THERM 6.3 aportaron dos tipos de resultados de interés. En primer lugar, los valores numéricos de transmitancia térmica. Si se comparan aquellos obtenidos para el muro opaco y el puente térmico en forma aislada con las metodologías de IRAM por un lado y las simulaciones de THERM por otro, puede reconocerse una gran similitud en los resultados, existiendo una discrepancia promedio de 3,4% que se acrecienta conforme se complejiza la figura del perfil transversal. Si en cambio se considera la Transmitancia Térmica Ponderada, esto es el flujo de calor a través del modelo que incorpora tanto muro opaco como puente térmico, los rendimientos de los sistemas constructivos disminuyen considerablemente. Si se evaluaran estos valores con aquellos que IRAM considera admisibles, el 40% de los sistemas constructivos alcanzaría el Nivel A para verano y únicamente el 20% el mismo nivel para invierno. Ubicándose en el Nivel B el 40% para verano y el 60% para invierno. El sistema de núcleo de poliestireno expandido con malla electro-soldada incluso se encontraría por encima de los niveles mínimos establecidos por norma con esta nueva consideración. Estas consideraciones sin embargo se hacen de manera anecdótica, ya que una verdadera evaluación demandaría la reformulación de la Normativa y una redeterminación de los valores que la misma considera admisibles.

En segundo lugar, THERM aportó información gráfica de gran valor. En gráficos de isoterms o de gradiente de temperatura representado mediante escala de colores, puede reconocerse claramente el comportamiento del perfil transversal ante el paso del calor. En los sistemas constructivos analizados se advierte que la mayor reducción de temperatura se produce en la porción correspondiente al aislante térmico y que al verse el mismo interrumpido por un elemento estructural (puente térmico), las líneas de igual temperatura tienden a bordear la heterogeneidad, acercándose a los límites del cerramiento. Por medio de gráficos de vectores de flujo y escalas colorimétricas de magnitudes de flujo puede notarse la concentración de la transmisión del calor en los puentes térmicos y el poder de atracción del flujo que tienen sobre sectores de muro opaco. Si bien los Riesgos de Condensación Superficial o Intersticial son valores no aportados por el Software, conociendo las temperaturas de bulbo seco en que las temperaturas de rocío son sobrepasadas, es posible determinar en gráficos de isoterms el punto en que ambas temperaturas entran en contacto y se inicia la condensación intersticial.

Con lo expuesto pueden reconocerse principalmente dos puntos críticos en el comportamiento higrotérmico y energético general de los sistemas constructivos no convencionales de uso

habitual en la región. Por un lado, la inaptitud de los cerramientos respecto a los puentes térmicos, por el descuido de la proporcionalidad entre valores por la persecución de bajos niveles de conductividad térmica de los muros opacos. Y, por otro lado, Riesgo constante de Condensación Intersticial, dado que los materiales aislantes térmicos, por lo general de naturaleza porosa, no impiden el paso de vapor de agua de igual manera que lo hacen con el paso del flujo de calor.

3.3 Optimización

Realizado el diagnóstico energético general de los sistemas constructivos analizados, se propusieron criterios para su optimización en dos líneas de acción. Primero, considerando que en cuatro de los cinco casos los puentes térmicos son estructuralmente imprescindibles, lo perseguido fue la reducción de la diferencia de transmitancia térmica entre muro opaco y puente térmico, para ajustarse a la tolerancia del 35% establecida por IRAM. Esto se consiguió por un lado reemplazando el material que constituía el puente térmico por uno de menor valor de conductividad, sin modificar sus propiedades mecánicas. Por ejemplo, las armaduras de acero pudieron ser reemplazadas por varillas de resina de vinil y fibra de vidrio. Otra medida aplicada fue la sustitución del material aislante de baja conductividad térmica por otro de conductividad mayor, sin que el cerramiento en general pierda la clasificación obtenida respecto a IRAM 11.605 para las Zonas Bioambientales I y II. Así la espuma de poliuretano (0,022 W/m°C) o la lana de vidrio (0,032 W/m°C) pudieron ser reemplazadas por poliestireno expandido (0.035 W/m°C).

Por otro lado, se procedió con la reubicación de la porción aislante dentro de las capas del cerramiento. Se lo retiró de su ubicación usual en el espacio dejado por los entramados estructurales y se lo ubicó por delante del mismo, permitiendo cubrir y proteger con aislación térmica todo el cerramiento. Esto a su vez permitió dejar los intersticios estructurales rellenos de aire, de menor resistencia térmica que los materiales aislantes colocados anteriormente en la misma posición, reduciendo considerablemente la diferencia de conductividad térmica entre ambas porciones del cerramiento.

Las diferentes capas constitutivas de la sección transversal deben asimismo mantenerse unidas entre sí y para ello requieren elementos de fijación. Debido a esto, la continuidad estricta del aislante no siempre es posible ya que se constituyen puentes térmicos no solo a efectos estructurales generales de la edificación, sino propios del cerramiento. Por ello se buscó reemplazar este tipo de situaciones por componentes que empleen sistemas de fijación sin necesidad de estructuras intermedias. Como las placas de roca de yeso de terminación interior aplicadas como revoques secos con el uso de adhesivos, en vez de medios tabiques con estructura de perfiles galvanizados. Los sistemas constructivos totalmente industrializados, como los paneles prefabricados, que en obra simplemente se ensamblan son más propensos a adquirir este tipo de medidas por su producción más racionalizada y controlada.

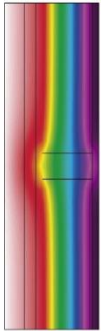
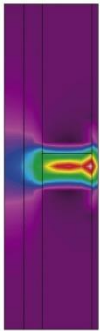
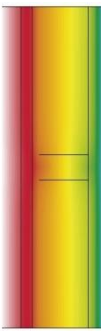
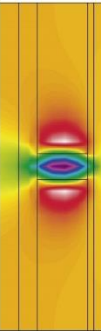




Ante el segundo punto crítico reconocido en los sistemas constructivos no convencionales, el siguiente criterio de optimización fue la disminución del Riesgo de Condensación Intersticial mediante el freno del paso de vapor de agua a través del sistema constructivo, reubicando la barrera de vapor dentro de la multicapa o aumentando la resistencia a su paso. Esto último logrado mediante el incremento de la cantidad de barreras de vapor empleadas o el reemplazo de algunos materiales muy permeables al paso de vapor por otros de mayor resistencia. También se planteó la posibilidad de disminuir los saltos térmicos entre las diferentes capas constitutivas, disminuyendo el material o el espesor de la porción del aislante térmico, a fin de que las temperaturas de bulbo seco y de rocío no entren en contacto.

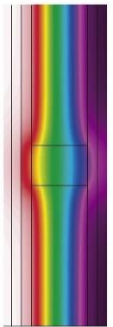
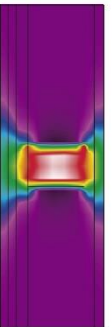
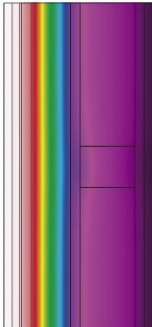
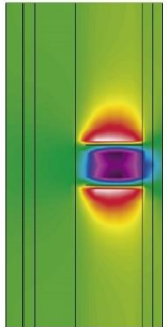
De las verificaciones y simulaciones a que se sometieron los sistemas constructivos en su situación optimizada puede observarse que en todos los casos el gradiente de temperatura a través de la sección transversal se vuelve más regular y las mayores disminuciones se concentran en la capa correspondiente al aislante térmico. Esto responde a la atenuación del efecto del puente térmico, generando isotermas más paralelas que ya no bordean al puente térmico. También puede reconocerse que las mayores magnitudes de flujo de calor se redistribuyen, dando la pauta de que no sólo el material utilizado es decisivo en el comportamiento térmico, sino su ubicación respecto al conjunto. También es interesante verificar que, en la situación optimizada, si bien los vectores de flujo aumentan de valor, se distribuyen de manera más regular en toda la sección transversal. La escala colorimétrica de magnitudes de flujo evidencia este fenómeno en que el gráfico adopta coloraciones púrpura más claras, pero disminuye considerablemente la amplitud de la escala, denotando la aptitud respecto a puente térmico y muro opaco.

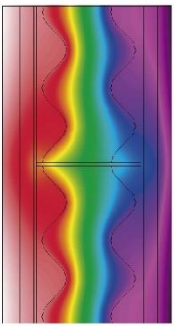
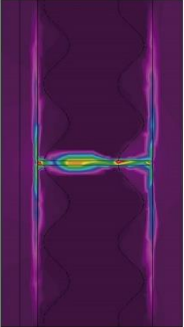
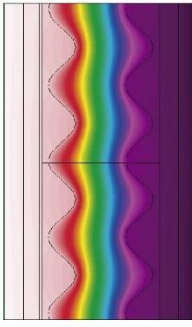
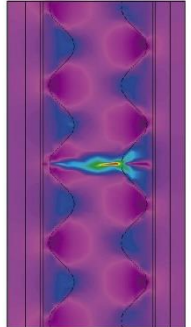
La Tabla 1 expone los resultados más relevantes de los sistemas estudiados con ambas metodologías y en los casos originales y optimizados. Los gráficos ilustrados corresponden a la Escala Colorimétrica de Gradiente de Temperatura (*Color Infrared*) y Escala Colorimétrica de Magnitudes de Flujo (*Color Flux Magnitud*), a la izquierda y derecha respectivamente de cada situación. En estas escalas, los colores fríos (azules y morados) corresponden a temperaturas y flujos de calor bajos, mientras los colores cálidos (amarillos y rojos) representan temperaturas y flujos de calor altos.

Tabla 1. Comparación de Situación Original y Optimizada de los Sistemas Constructivos No Convencionales analizados.

Situación Original		Situación Optimizada	
Sistema de Grandes Paneles			
Cerramiento Panel Portante de H°A° con terminación exterior de Revoque a la Cal e interior de Placas de Roca de Yeso		Eliminación del Puente Térmico aplicando un Revoque Seco sobre Poliestireno Expandido	
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
0,9731 W/m²°C	0,9856 W/m²°C	0,5294 W/m²°C	0,5296 W/m²°C
Nivel B (verano)	Nivel B (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)
SI Apto respecto a Puentes Térmicos		SI Apto respecto a Puentes Térmicos	
NO produce Condensación Superficial		NO produce Condensación Superficial	
SI produce Condensación Intersticial		SI produce Condensación Intersticial	

Sistema Liviano con Entramado de Madera			
Cerramiento Tipo Balloon Frame con terminación exterior de Siding de Pino e interior de Machimbre de Pino		Reubicación del Aislante Térmico en la cara interna para abarcar al Puente Térmico	
			
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
0,2624 W/m²°C	0,3220 W/m²°C	0,4826 W/m²°C	0,4812 W/m²°C
Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos		SI Apto respecto a Puentes Térmicos	
NO produce Condensación Superficial		NO produce Condensación Superficial	
SI produce Condensación Intersticial		SI produce Condensación Intersticial	
Sistema Liviano con Entramado Metálico			
Cerramiento Tipo Steel Frame con term. ext. de Revestimiento Plástico e int. de Roca de Yeso		Reubicación del Aislante Térmico en la cara interna para abarcar al Puente Térmico	
			
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
0,3896 W/m²°C	0,6004 W/m²°C	0,4530 W/m²°C	0,4919 W/m²°C
Nivel A (verano)	Nivel B (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos		SI Apto respecto a Puentes Térmicos	
NO produce Condensación Superficial		NO produce Condensación Superficial	
SI produce Condensación Intersticial		SI produce Condensación Intersticial	

Sistema Liviano de Paneles Prefabricados			
Panel Sandwich de Madera de Pino con term. ext. de Placa Cementicia e int. de Roca de Yeso		Reubicación del Aislante Térmico en la cara externa para abarcar al Puente Térmico	
			
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
0,2755 W/m²°C	0,4243 W/m²°C	0,4698 W/m²°C	0,4641 W/m²°C
Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)	Nivel A (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos		SI Apto respecto a Puentes Térmicos	
NO produce Condensación Superficial		NO produce Condensación Superficial	
SI produce Condensación Intersticial		SI produce Condensación Intersticial	

Sistema de Paneles Aligerados con Núcleo de Poliestireno y Malla Electro-soldada Espacial			
Cerramiento de Poliestireno Expandido y Malla Electrosoldada con Hormigón Proyectado.		Reemplazo del Acero por Varillas de Resina de Vinil y Fibra de Vidrio.	
			
Coeficiente de Transmitancia Térmica		Coeficiente de Transmitancia Térmica	
Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM	Muro Opaco s/ IRAM	Puente Térmico Ponderado s/ THERM
0,5090 W/m²°C	2,5319 W/m²°C	0,5082 W/m²°C	0,5868 W/m²°C
Nivel A (verano)	No califica	Nivel A (verano)	Nivel B (verano)
NO Apto respecto a Puentes Térmicos		NO Apto respecto a Puentes Térmicos	
NO produce Condensación Superficial		NO produce Condensación Superficial	
SI produce Condensación Intersticial		SI produce Condensación Intersticial	

Fuente: Elaboración propia

Debe destacarse que, si bien en algunos casos la transmitancia térmica de la situación optimizada aumenta respecto a la situación original, los valores se mantienen dentro del Nivel A propuesto por la Norma IRAM 11.605 y el 80% de los sistemas logran con ello la aptitud respecto a los puentes térmicos.

Otro fenómeno observado principalmente en los sistemas que emplean elementos de madera como estructura principal de los entrenados, es que, al reubicar el material aislante, las heterogeneidades se convierten en los puntos del cerramiento en que se producen los menores flujos de calor. Ya que, debido a su masa, ofrecen mayor resistencia al paso de temperatura que las cámaras de aire que se encuentran en sus intersticios en reemplazo del material aislante que lo ocupaba anteriormente. De esta manera, la lógica de muro opaco y puente térmico se invierten.

En cuanto al segundo punto crítico, el Riesgo de Condensación Intersticial no pudo ser erradicado por completo pese a la aplicación de las estrategias de optimización. Se ha logrado reducir la diferencia de temperatura de bulbo seco y de rocío, retardando el proceso. Pero la eliminación total del fenómeno únicamente se conseguiría con la implementación de soluciones costosas y constructivamente complejas, como la incorporación de numerosas barreras de vapor o la resignación de propiedades aislantes térmicas del cerramiento.

4. Conclusiones y recomendaciones

En primer lugar, puede reconocerse que los Sistemas de Construcción No Convencional de empleo usual en el Nordeste Argentino que pudieron analizarse en el presente trabajo registran buenos comportamientos higrotérmicos y energéticos generales. En especial por su principio de racionalidad, son sistemas que incorporan las consideraciones de confort ambientales y principalmente aislación térmica. Sin embargo, existen aspectos que en el desarrollo de la investigación pudieron mejorarse y que aún pueden seguir optimizándose. En especial en relación al comportamiento de los puentes térmicos, elementos principales de la construcción no convencional. Al momento de diseñar soluciones constructivas es importante buscar no solo la menor conductividad térmica posible, sino estudiar la relación entre puente térmico y muro opaco. Y en especial evaluar las grandes disminuciones de temperatura dentro del cerramiento en relación al principal flagelo que acusa a la construcción en la región, la condensación intersticial de vapor de agua. Problemática que sin embargo se cree sobreestimada por la normativa IRAM por los valores de diseño excesivamente bajos que determina para las verificaciones en la región.

La falta de verificación y exigencia del cumplimiento efectivo de la normativa de habitabilidad y técnico-constructiva vigentes por parte de los diferentes estamentos gubernamentales, hace que su cumplimiento se limite muchas veces a voluntades expresas de diseñadores, constructores y comitentes. Las mejoras en los rendimientos de los diferentes sistemas constructivos, por otro lado, significan en la mayoría de los casos aumentos de los costos iniciales y en una industria tan competitiva como la construcción, ello genera pérdida de competitividad. En especial si no todos los actores aplican o son obligados a aplicar iguales criterios de diseño.

Se considera necesaria la revisión de los diferentes Reglamentos y Códigos de Construcción de las principales ciudades de la región, actualmente muy retrasadas respecto a los importantes avances de la construcción industrializada. Con el objetivo de una inclusión más amplia de consideraciones respecto a las performances higrotérmicas y energéticas de los sistemas constructivos en general y de la normalización del uso de los sistemas constructivos no convencionales. Todo en favor de un cambio de paradigma que tome en cuenta principalmente costos económicos y ambientales de todo el ciclo de vida de las edificaciones,

no sólo las inversiones iniciales, en especial ante la crisis ecológica mundial y el déficit energético que vive la región.

En cuanto al uso del Software de simulación THERM 6.3, su interface sencilla y los resultados numéricos muy similares a la Normativa del IRAM lo convierten en una herramienta muy útil y confiable de complemento a las verificaciones realizadas con las normas de habitabilidad vigentes en la Argentina.

Si bien las discrepancias entre los valores obtenidos con uno y otro método de cálculo son muy pequeñas, el principal problema no es la calibración de los resultados, sino la naturaleza de los mismos. La Normas IRAM establecen los procedimientos de determinación de la resistencia térmica de las envolventes de los edificios procediendo de manera individualizada con el cálculo de la Transmitancia Térmica Lineal de la porción opaca del muro y del puente térmico. El software THERM, por su lado, calcula la transmitancia térmica total del modelo dibujado, implicando que para poder establecer iguales relaciones que con la Norma IRAM deban desarrollarse una serie adicional de operaciones que terminan siendo más engorrosas y largas que la aplicación de las planillas de cálculo que propone IRAM. El software tampoco calcula los Riesgos de Condensación Superficial e Intersticial de los diferentes cerramientos, verificaciones muy importantes en la determinación de sus comportamientos. Por estas diferencias esenciales que impide que los resultados de las simulaciones puedan relacionarse directamente con estándares, clasificaciones y especificaciones determinadas por IRAM, es que se considera a THERM como un complemento. Un verdadero empleo del software como mecanismo de verificación del rendimiento higrotérmico y energético de las soluciones constructivas en nuestro país y región demandaría una reformulación de las Normas IRAM, o de THERM, a fin de que trabajen con iguales parámetros de evaluación y arrojen valores similares. Continuando con lo anterior, el software es empleado en Estados Unidos, su país de origen, como herramienta de certificación de diferentes elementos constructivos, en especial carpinterías. En la Argentina, sin embargo, no posee este reconocimiento oficial ni se adapta a la normativa vigente, por lo que esta ventaja desaparece.

A pesar de las diferencias descriptas anteriormente, se reconocen dos grandes ventajas en la aplicación de THERM. En primer lugar, la posibilidad de obtener un Coeficiente Ponderado de Transmitancia Térmica, que incorpora ambas porciones del cerramiento y de alguna manera determina un valor de transmitancia térmica promedio que puede aplicarse a toda la envolvente. Sin caer en errores de consideración exclusiva del muro opaco para la evaluación de los sistemas. En segundo lugar, se considera una herramienta muy útil para diseñadores por proveer información muy valiosa de orden gráfico. Esta información no es aportada por IRAM y es de gran utilidad para el reconocimiento claro del comportamiento de las secciones transversales de los cerramientos y de sus puntos más críticos.

Por otro lado, los métodos de verificación del comportamiento higrotérmico de los sistemas constructivos no solo se emplean una vez definidos los mismos, sino en el proceso de diseño. La modificación de alguna de las variables permite evaluar distintas alternativas y verificar sus diferentes comportamientos. Así al momento de diseñar puede evaluarse el comportamiento del sistema con diferentes espesores del material aislante, o bien modificar los diferentes materiales, variando las propiedades de conductividad de cada uno de ellos. En este sentido, en la aplicación de los diferentes métodos de evaluación descriptos en el presente trabajo pueden reconocerse diferencias. La Normativa IRAM se aplica mejor cuando se modifica la geometría de la sección transversal. Esto es la modificación de los espesores o las capas constitutivas. Ya que el agregado o la modificación de dichos valores en las planillas de cálculo es muy sencillo. El Software THERM 6.3 por su lado presenta ventajas únicamente

cuando se varían las propiedades de los diferentes materiales o las condiciones de contorno. Asignando un nuevo material al sistema constructivo simulado pueden entenderse fácilmente los cambios en su comportamiento. Sin embargo, modificar las geometrías es mucho más dificultoso que con las planillas de IRAM.

Por último, una de las desventajas más importantes en el uso de THERM, considerando usuarios de habla no inglesa, es que en la actualidad el software únicamente se encuentra disponible en idioma inglés. Esta situación se agudiza considerando que el actual plan de estudios de la Carrera de Arquitectura de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste no incluye el idioma como materia curricular, limitando la posibilidad de aprovechamiento de estudiantes y profesionales del medio de una herramienta de tan fácil acceso como este software. Si bien, en la operatoria de uso este inconveniente puede ir subsanándose gradualmente al familiarizarse con la interface y entendiendo cada una de las funciones. Todos los manuales de uso asimismo se encuentran en idioma inglés y los

software se publica un Manual del Usuario que incorpora únicamente las nuevas funcionalidades o recomendaciones incorporadas. Para iniciarse en el manejo del software se debe recurrir a los manuales de las primeras versiones.

Se concluye entonces que el Software THERM 6.3 puede aplicarse a la evaluación del comportamiento higrotérmico y energético de los sistemas constructivos en general, de los sistemas constructivos no convencionales y en especial de los puentes térmicos. Dada la información gráfica aportada que permite leer fácilmente los puntos más críticos de dicho comportamiento. Esta aplicación sin embargo se entiende complementaria y no sustituye a las Normas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación. El verdadero aprovechamiento del Software THERM en la Argentina demandaría además de su adaptación a la normativa de habitabilidad vigente, su traducción a la lengua hispana.

5. Referencias

- [1] Norma IRAM 11.549. Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario. Tercera Edición. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina.
- [2] LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (2013). *THERM 6.3 / WINDOW 6.3 NFRC Simulation Manual*. Berkeley, California, Estados Unidos.
- [3] MAC DONNEL, H. (1999). *Manual de Construcción Industrializada*. Editorial Revista Vivienda S.R.L. Buenos Aires, Argentina.