



REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS EN TORRE MEDIANTE ATENUACIONES DE PUENTES TÉRMICOS EN SU ENVOLVENTE. SIMULACIONES CON “QUICK II”

Alías, H. M.; Jacobo, G. J

Cátedra Estructuras II. Área de la Tecnología. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional del Nordeste

Campus Resistencia – Av. Las Heras 727 – 3500 Resistencia – Chaco - Argentina

Tel: (03722) 425573 / 426762 / 459454/ e-mail: heralias@arq.unne.edu.ar / gijacobo@yahoo.com

RESUMEN: A partir de un relevamiento de veintisiete edificios en altura construidos en las ciudades de Resistencia y Corrientes, (región Nordeste de Argentina, de clima muy cálido - húmedo), luego de analizar sus variables *situacionales, funcionales y técnico/constructivas*, se realizó un estudio de comportamientos higrotérmicos y energéticos de la estructura y la envolvente de dichos edificios, aplicando normativa IRAM de habitabilidad higrotérmica y realizando simulaciones con el programa informático QUICK II, tanto para la situación real de materialización de las envolventes de dichos edificios, como para una situación “teórica” optimizada propuesta. Como resultado, se propone mejorar los niveles de aislación y las resoluciones constructivas de los encuentros “*envolvente – estructura portante*”, para obtener condiciones de confort y uso racional de la energía. Se verifica que atenuar los puentes térmicos redundará en una optimización higrotérmica, un ahorro de energías convencionales para el acondicionamiento de ambientes y por consiguiente, un entorno más sustentable.

Palabras Claves: consumo energético – edificios en torre – puentes térmicos.

1. INTRODUCCIÓN

El principal inconveniente de los edificios en altura radica en su alto consumo de energía y su alta exposición a los factores climáticos, agravado todo esto cuando el diseño no toma en cuenta el clima del sitio de emplazamiento (Marusic, 1999). Por otra parte, los sistemas constructivos vigentes para la materialización de la envolvente de edificios en torre en la región Nordeste de Argentina (NEA), y específicamente en las ciudades de Corrientes y Resistencia, están representados casi con exclusividad por la mampostería de ladrillos cerámicos huecos o por bloques de hormigón, constituyendo envolventes de una sola hoja o monocapa. La estructura de hormigón armado (H^ºA^º) de dichos edificios representa generalmente importantes puentes térmicos constructivos crónicos en sus uniones con la mampostería y en las uniones con las losas de los entrepisos. Internacionalmente, el diseño arquitectónico, desde fines siglo XX, se basa en la generación de condiciones adecuadas de confort higrotérmico, por medio de la solución correcta de la envolvente constructiva perimetral que minimiza o anula los puentes térmicos, materializando envolturas homogéneas desde el punto de vista térmico, aunque la solución tecnológica sea multicapa.

Según trabajos de investigación consultados y experiencias internacionales, existen áreas dentro del consumo de energía de los edificios donde se puede producir un sustancial ahorro. La inclusión de aislación térmica y la corrección de heterogeneidades y discontinuidades en la envolvente de un edificio puede ahorrar un importante porcentaje de la energía que se utiliza para acondicionar los ambientes del mismo (San Juan y Evans, 1995). La cuantificación teórica de este ahorro es lo que el presente trabajo busca determinar, así como algunas maneras tentativas de lograrlo.

El criterio energético para evaluar el desempeño de la edificación resulta relevante, pues gran parte de la energía que se utiliza actualmente en Argentina es para fines residenciales. Un elevado consumo de energía eléctrica se verificó en los últimos años, superando los valores máximos regionales y nacionales en el verano 2006-07, pero dentro de un contexto de crisis energética, cuyo problema principal es la generación y distribución nacional de la energía demandada.

Las decisiones del proyectista tienen gran impacto sobre el contexto energético-ambiental, así como también en la vida útil de los edificios. Para una acertada toma de decisiones, se debe tener a disposición no sólo alternativas tecnológicas válidas, sino información adecuada y objetiva sobre las mismas, e instrumentos que permitan evaluarlas de forma integral. Es por esto que con los datos generados (mediante análisis de los edificios seleccionados, sus verificaciones de desempeño higrotérmico teórico mediante aplicación de normativa y luego la simulación informática de dicho comportamiento), se apunta a la producción de registros comparativos de eficiencia energética de estos edificios en el clima del NEA, para poder así proponer recomendaciones tecnológicas de diseño de la dupla “*envolvente – estructura*” que atenúen las heterogeneidades detectadas.

Son objetivos del trabajo:

1. Desarrollar conocimientos sobre características higrotérmicas de la envolvente de edificios en torre, y sus influencias en el consumo de energía eléctrica necesaria para el acondicionamiento ambiental interior.
2. Evaluar la necesidad de mejorar los niveles de aislamiento y de atenuar los puentes térmicos representados por el sistema estructural en la envolvente de edificios en torre, para obtener condiciones de confort y uso racional de la energía, cuali y cuantificando el impacto de los puentes térmicos.

3. Proponer pautas de adecuación del diseño tecnológico de la dupla “envolvente – estructura” de edificios en torre, tendientes a lograr edificios más adaptados al clima local y cuyo consumo de energía eléctrica para el logro del confort térmico interior sea menos intensivo.
4. Desarrollar una Base de Datos de tipologías de edificios en altura construidos en las ciudades de Resistencia y Corrientes en las últimas décadas, considerando su resolución estructural y tecnológico – constructiva; situacional (implantación) y relacional - funcional (tipología, distribución interior).
5. Catalogar prestaciones, rendimiento y aplicaciones de programas específicos de simulación computacional, tanto para la modelización y predicción del consumo energético de los edificios en función de su comportamiento térmico, como del comportamiento de puentes térmicos del cerramiento de los mismos.
6. Releva y catalogar los materiales disponibles en el mercado comercial regional para el aislamiento térmico y la corrección de heterogeneidades causadas por el sistema estructural de un edificio.
7. Aplicar la normativa de habitabilidad vigente (normas IRAM) a las situaciones de encuentros característicos definidos en los edificios, para una verificación preliminar de su comportamiento higratérmico teórico.
8. Proponer resoluciones constructivas alternativas de los encuentros *muro / suelo (y/o entrepiso); muro / estructura; suelo (y/o entrepiso) / estructura*, de los edificios de nuestra zona, que satisfagan las condiciones mínimas de habitabilidad higratérmica y que permitan atenuar los puentes térmicos y evitar el riesgo de condensación superficial.

2. ETAPAS Y ALCANCES PRETENDIDOS

2.1. PRIMERA ETAPA: relevamiento – sistematización de información. **Actividades y alcances:**

- a. Búsqueda y recopilación de información y antecedentes referentes al tema problema. Definición del Universo de Estudio y de los grandes ejes temáticos: *Edificios en altura; Materialización de su envolvente; Puentes térmicos; Aislaciones; Eficiencia higratérmica; Ahorro energético.*
- b. Relevamiento y análisis de documentación de proyecto, legajo de obra y de material gráfico y fotográfico de veintisiete (27) edificios en torre construidos (diecisiete –17- de ellos en la ciudad de Corrientes, provincia de Corrientes y diez – 10- en la ciudad de Resistencia, provincia del Chaco, República Argentina). Análisis de los datos reunidos según tres grupos de variables: situacionales (localización – implantación); relacionales – funcionales; y técnico – constructivas.
- c. Fichaje y realización de una Base de Datos con el material relevado en el punto anterior.
- d. Relevamiento y análisis de prestaciones, rendimiento y aplicaciones de programas específicos de simulación computacional, tanto para la modelización y predicción del consumo energético de los edificios en función de su comportamiento térmico (diario, mensual, estacional y anual) y de sus materiales constitutivos, como para la modelización del comportamiento higratérmico de puentes térmicos verticales y horizontales del cerramiento vertical de edificios.
- e. Relevamiento y catalogación de los materiales disponibles en el mercado comercial regional, tanto para la atenuación de heterogeneidades causadas por el sistema estructural de un edificio como para el aislamiento térmico en general.

2.2. SEGUNDA ETAPA: análisis – operacionalización – producción de datos. Constituyó el núcleo del trabajo. Se definieron las unidades de análisis (UA) con que se trabajó, se seleccionaron las variables a estudiar de cada UA y se aplicaron procedimientos a dichas variables para obtener los datos y resultados centrales de la investigación. La etapa concluyó con la evaluación del comportamiento higratérmico del cerramiento vertical de edificios en altura tomados como UA y del consumo energético derivado de dicho rendimiento higratérmico. **Actividades y alcances:**

- a. Definición de las UA: Se seleccionaron cuatro (4) edificios en altura representativos de las tipologías más difundidas en las ciudades de Corrientes y Resistencia, luego del análisis de la información obtenida con el relevamiento realizado en la primera etapa. Dichas UA son:

De la ciudad de Corrientes, provincia de Corrientes (figura 1):

- a.1. Edificio “Ayerovia III” (ubicado en calle 9 de Julio entre Perú y Roca. Función: Viviendas y comercios).
- a.2. Edificio “Puesta del Sol” (ubicado en calle Irigoyen esq. Padre Borgatti. Función: Viviendas y oficinas).

De la ciudad de Resistencia (figura 2):

- a.3. Edificio Mitre 250 (ubicado en calle Mitre entre Santa Fe y Corrientes. Función: Viviendas y oficinas).
- a.4. Edificio “Coning III” (ubicado en calle Santa Fe esq. Mitre. Función: Viviendas y comercios).

UNIDADES DE ANÁLISIS DE LA CIUDAD DE CORRIENTES					
Edificio - Imagen	Implantación	Tipología - Planta Tipo	Cortes y Vistas	Detalles - Encuentros	Fotografías peatonales y aéreas
	 AYEROVIA III. (entre medianeras)	 PLANTA TIPO (2º al 15º Piso)			
	 PUESTA DEL SOL. (en esquina)	 PLANTA TIPO 1ª, 7ª			

Figura 1. Unidades de Análisis localizadas en la ciudad de Corrientes.

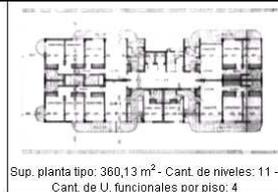
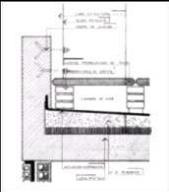
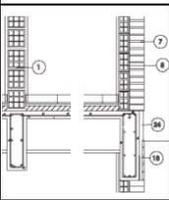
UNIDADES DE ANÁLISIS DE LA CIUDAD DE RESISTENCIA					
Edificio - Imagen	Implantación	Tipología - Planta Tipo	Cortes y Vistas	Detalles - Encuentros	Fotografías peatonales y aéreas
	 CORRIENTES Mitre 250, entre Santa Fe y Corrientes (entre medianeras)	 Sup. planta tipo: 360,13 m ² - Cant. de niveles: 11 - Cant. de U. funcionales por piso: 4			
	 Conning III, Santa Fe y Mitre (en esquina)	 Sup. planta tipo: 502,83 m ² - Cant. de niveles: 22 - Cant. de U. funcionales por piso: 4			

Figura 2. Unidades de Análisis localizadas en la ciudad de Resistencia.

- Definición de situaciones prototípicas de resoluciones constructivas de los encuentros entre la envolvente y la estructura portante (*muro / suelo; muro / entepiso; muro / columna o viga; suelo / columna; entepiso / columna o viga*) según las situaciones más frecuentes registradas.
- Cálculo de la resistencia térmica total (“R”) de muros exteriores y sus encuentros característicos, basado en el método de cálculo de la Norma IRAM 11601/96, y de cálculos por método de diferencias finitas realizando el cálculo manual de puentes térmicos recomendados por IRAM 11605/96, Anexo A.
- Cálculo del valor de la transmitancia térmica total (“K”) de muros y puentes térmicos y verificación del cumplimiento de los valores máximos admisibles de transmitancia térmica según IRAM 11605/96, en verano e invierno.
- Verificación del riesgo de condensación superficial de muros según IRAM 11625, tanto en paños centrales como en puntos singulares.
- Realización de simulaciones computacionales para obtener una estimación comparativa global del comportamiento térmico de los edificios tomados como UA, en su situación original (sin corrección de puentes térmicos ni aumento del aislamiento térmico) y en una situación optimizada propuesta.
- Evaluación de la aptitud de las resoluciones analizadas en nuestra zona bioambiental,

2.3. TERCERA ETAPA: pautas - propuestas. Actividades y alcances:

- Propuestas de pautas de diseño tecnológico optimizado destinadas a atenuar las discontinuidades en los encuentros entre los cerramientos y la estructura portante de los edificios, en función de la economía energética y el confort humano, según los resultados de las evaluaciones de la etapa anterior.

3. GENERALIDADES CLIMÁTICAS DE CORRIENTES Y RESISTENCIA

La mayor parte de la región Nordeste de Argentina (NEA) se halla comprendida en la “zona I: muy cálida húmeda” (IRAM 11603/96). Durante la época caliente todos los sectores presentan valores de temperatura máxima superiores a 34°C y valores medios superiores a 26°C, con amplitudes térmicas siempre inferiores a los 15°C. La tensión de vapor mínima es de 1870 Pa (14 mm Hg) y aumenta según el eje Suroeste-Noreste. El período invernal es poco significativo con temperaturas medias durante el mes más frío superiores a los 12°C. La zona se subdivide en 2 subzonas, a y b, en función de las amplitudes térmicas: *Subzona Ia*: amplitudes térmicas mayores de 14°C; *Subzona Ib*: amplitudes térmicas menores de 14°C.

Las ciudades del NEA consideradas a efectos de este trabajo y en las cuales se implantan los edificios analizados, Corrientes y Resistencia, se hallan incluidas en la zona bioambiental Ib, siendo su temperatura efectiva (TE) en días típicamente cálidos de verano superior a 26,3°C, con temperaturas máximas de bulbo seco que superan los 34°C y medias que superan los 26°C; los inviernos son poco significativos, ya que presentan menos de 400 grados días anuales. Dominan los vientos procedentes del NE, E, SE, y S, en orden decreciente, y faltan casi totalmente los de otros cuadrantes. Durante los meses de septiembre a noviembre, cuando se acentúa la depresión del noroeste argentino, predominan los vientos del EN y del N, y desde febrero a abril, cuando la alta atlántica se encuentra de regreso al norte siguiendo el movimiento aparente del sol, predominan los vientos del sector E y SE. El régimen pluviométrico es aproximadamente uniforme: los máximos se registran a fines de verano y principios del otoño (marzo - abril) y los máximos secundarios en primavera (octubre - noviembre). Ambos períodos lluviosos están separados por una época de menores lluvias en pleno verano y otra más acusada en invierno, con mínimos en agosto, cuando la influencia marítima es casi nula.

4. PRIMEROS RESULTADOS OBTENIDOS

La indagación a las variables definidas mediante la aplicación de los procedimientos mencionados en el punto 2. “Etapas y alcances”, pretendió producir datos acerca de tres cuestiones centrales:

4.1. REALIDAD CONSTRUCTIVA REGIONAL DE LOS EDIFICIOS EN ALTURA CONSTRUIDOS EN CORRIENTES Y RESISTENCIA

El relevamiento de veintisiete (27) edificios construidos, arrojó como resultados los siguientes: en cuanto al *tipo de dispositivos de protección climática*, en la mitad de los edificios relevados, la única protección está dada por la presencia de aleros (muchas veces representados por los balcones de los pisos superiores) o bien de parasoles en las ventanas. En un 20% de los casos no existe ningún dispositivo de protección climática, lo que repercute en los altos índices de consumo de energía eléctrica para acondicionamiento mecánico de los ambientes habitables (figura 3). No se han detectado intentos de atenuación de las discontinuidades, representadas por las uniones de los cerramientos con las diferentes partes del sistema estructural de

los edificios (uniones muro/columnas; muro/vigas; muro/losas o entrepisos; muro/suelo). En cuanto al *material constitutivo del sistema estructural* (fundaciones – vigas principales – vigas secundarias – columnas o pies de pórticos – entrepisos) de los edificios relevados, prevalece el H°A° (figura 4). En lo referente a *tipologías de muros*, predominan los muros simples (es decir, monocapa), ya sean de ladrillos huecos en distintos espesores o de ladrillos macizos comunes, revocados tanto exterior como interiormente, salvo un solo caso detectado de ladrillo común sin revocar del lado exterior. Tan solo un 15% de los casos relevados presenta muros dobles, presentándose las dos hojas (que pueden ser una de ladrillos comunes, generalmente la exterior, y la otra de ladrillo cerámicos huecos) separadas frecuentemente por una cámara de aire (figura 5).

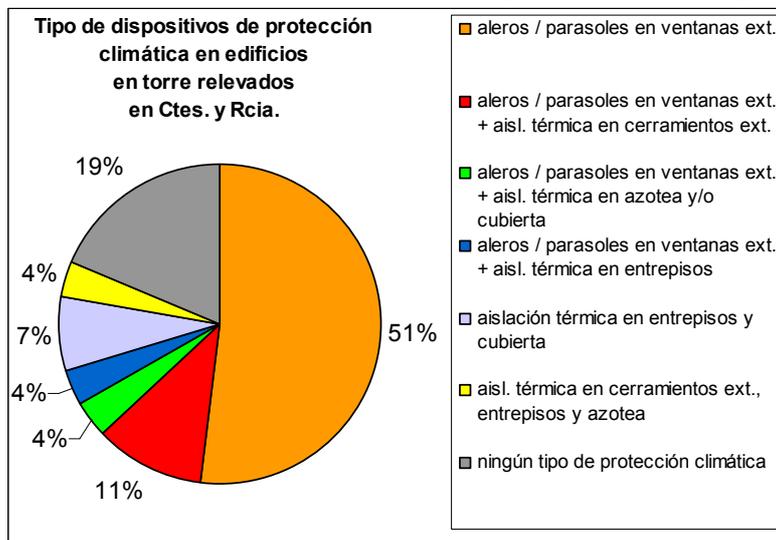


Figura 3. Tipo de dispositivos de protección climática en edificios en torre, sobre un total de 27 casos relevados.

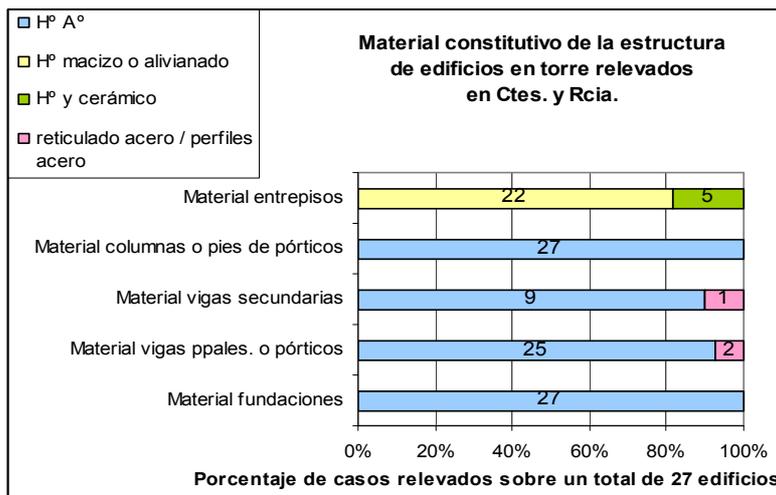


Figura 4. Material de ejecución de la estructura portante de edificios en torre, sobre un total de 27 casos relevados.

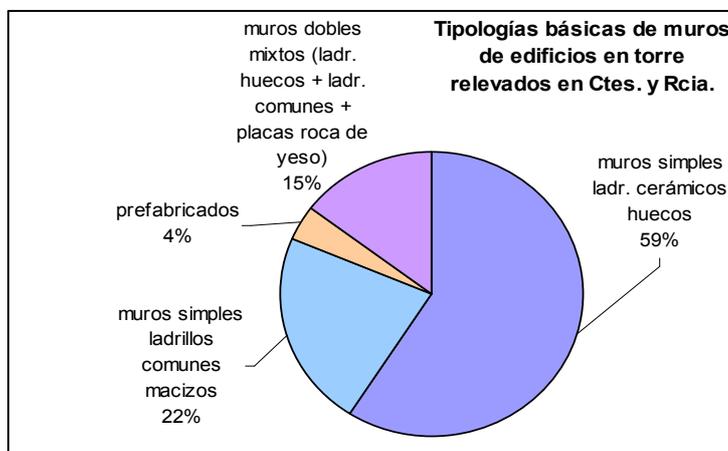


Figura 5. Tipologías de envolventes murarias de edificios en torre, sobre un total de 27 casos relevados.

4.2. SITUACIÓN HIGROTÉRMICA TEÓRICA DE LOS COMPONENTES DE LA ENVOLVENTE DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS

Se realizó la verificación de muros y puentes térmicos en lo referente a valores de transmitancias térmicas y riesgo teórico de condensaciones invernales (según la normativa de habitabilidad vigente del Instituto Argentino de Racionalización de Materiales –IRAM-: normas 11601/ 11605 / 11625 /11630). Esta verificación se constituyó en punto de partida de la instancia procedimental, para dar un pantallazo de la calidad constructiva a nivel higrotérmico de los edificios construidos, que se verificó como muy baja, incluso por debajo de los límites mínimos admisibles obligatorios para construcciones del sector público u oficial (tabla I).

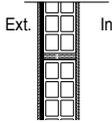
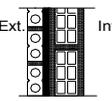
VERIFICACIONES HIGROTÉRMICAS DE MUROS ENVOLVENTES SEGÚN NORMATIVA IRAM											
Unidad de análisis	Esquema de la envolvente	Espesor (W)	Conductancia térmica (K)	Nivel de construcción (según transmitancia térmica)			Transmitancia Térmica Puentes Térmicos "Kpt" (W/m ² °C) (columna H _{FA} ° embutida en muro)	Evaluación puente térmico (según IRAM 11605/96)		Verificación riesgo condensaciones invernales (según IRAM 11625/00)	
				A (óptimo)	B (medio)	C (mínimo aceptable)		aceptable	inaceptable	superficiales	intersticiales
				Valor		Valor		Valor		Valor	
		39		-	-	X	3,15	-	X	-	X
				-	X	-	3,15	-	X	-	-
		1,10		-	X (p/verano)	X (p/invierno)	1,7	-	X	-	-

Tabla I. Planilla síntesis de las verificaciones de las envolventes de las UA mediante aplicación de normativa IRAM vigente de habitabilidad higrotérmica..

4.3. FLUCTUACIONES TÉRMICAS DIARIAS DE LOS AMBIENTES INTERIORES DE LOS EDIFICIOS ANALIZADOS Y CONSUMOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE CONFORT INTERIOR

Hasta el momento se ha trabajado con simulaciones sólo en dos de las cuatro UA definidas: a.2. (edificio “Puesta del Sol”, Corrientes) y a.4. (edificio “Coning 3”, Resistencia), a partir de las peculiaridades conferidas por las características higrotérmicas de sus envolventes (se ha centrado la atención en los muros de cerramiento). Se realizaron simulaciones térmicas con el software “QUICK II” (Mathews, 1997), para la situación real relevada de la envolvente de las UA, y para una situación optimizada propuesta (ficticia, basada en corregir los encuentros entre estructura portante y cerramiento envolvente, mediante aplicación de materiales aislantes o mediante simples cambios de disposición de las capas de los materiales constitutivos).

Para la aplicación del programa computacional se tomó como módulo básico de análisis a la planta tipo, y dentro de ella a una “unidad funcional” o vivienda independiente (los dos edificios inicialmente simulados poseen cuatro unidades funcionales por planta tipo). La unidad funcional de cada edificio bajo análisis se dividió en cuatro zonas operativas: Zona Estar; Zona Dormir; Zona Servicio y Circulaciones comunes (tabla II). Las estancias semicubiertas (balcones o terrazas) no se han considerado en las verificaciones, ya que las mismas están abiertas permanentemente, aunque sí se ha considerado el porcentaje de sombra que las mismas arrojan a las superficies de la envolvente contigua, a las que protegen de la excesiva radiación solar. El programa debió cargarse con datos edilicios teóricos de cada edificio analizado (materiales de entrepisos y muros y sus respectivos coeficientes de conductividad térmica, densidad y calor específico) y datos climáticos (temperatura, humedad relativa, radiación solar total o global y difusa) medidos en forma horaria, para el día de diseño del período cálido y para el día de diseño del período frío. Las superficies verticales se diferenciaron en los tabiques del interior de la unidad funcional y los muros exteriores. La simulación fue realizada para el día de diseño del período estival y también para el día de diseño del período invernal. Las condiciones mínimas de confort se fijaron para todos los prototipos analizados según rangos usuales para la región y según consideración de datos de temperaturas de diseño medias definidas en la norma IRAM 11603/96 para Corrientes y Resistencia (Alías y Jacobo, 2004): para Verano: 22°C y 60% HR, y para Invierno: 18°C y 65% HR.

Se obtuvieron en ambos casos tanto los valores de cargas térmicas necesarias para mantener la situación de confort con medios artificiales, como las fluctuaciones de temperatura en el interior de las plantas tipo (de la unidad funcional de la planta tipo de cada edificio definido, que en los dos casos corresponden a viviendas) en caso de no existir medios mecánicos de acondicionamiento térmico. Se determinaron los consumos eléctricos promedio por unidad de superficie para cada planta tipo. Se verificó que el consumo de electricidad simulado para lograr el confort interior, es mayor en verano que en invierno.

Edificios simulados con QUICK II. Variables tipológicas							
	Función	Cant. total de niveles	Altura desde nivel vereda (m)	Cant. de niveles de plantas tipo	Superficie planta tipo (m ²)	Cant. de U.F./planta tipo	Superficie U.F. (m ²)
Edificio "Puesta del Sol"	vivienda oficinas	16	45,00	13	644,20	4	151,92
Edificio "Coning III"	vivienda comercio	22	62,00	18	387,26	4	84,81

Modelización de las plantas tipo para las simulaciones	
Planta tipo Edificio "Puesta del Sol"	Planta tipo Edificio "Coning 3"

Tabla II. Planilla síntesis de la zonificación modelizada para la simulación con QUICK II de los dos edificios simulados.

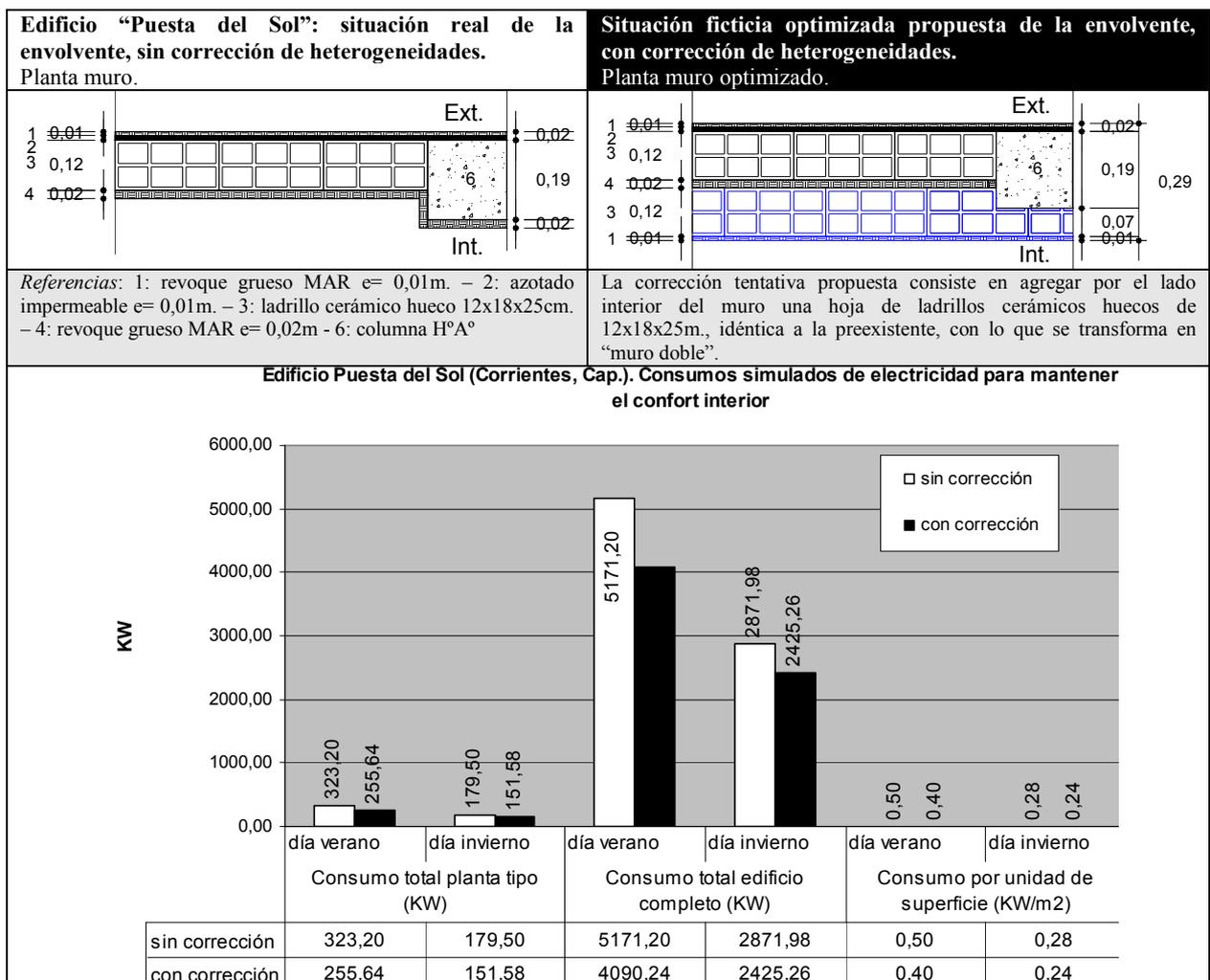


Figura 6. Edificio "Puesta del Sol", Corrientes, Capital. Consumos de electricidad para mantener el confort interior, según simulación con Quick II.

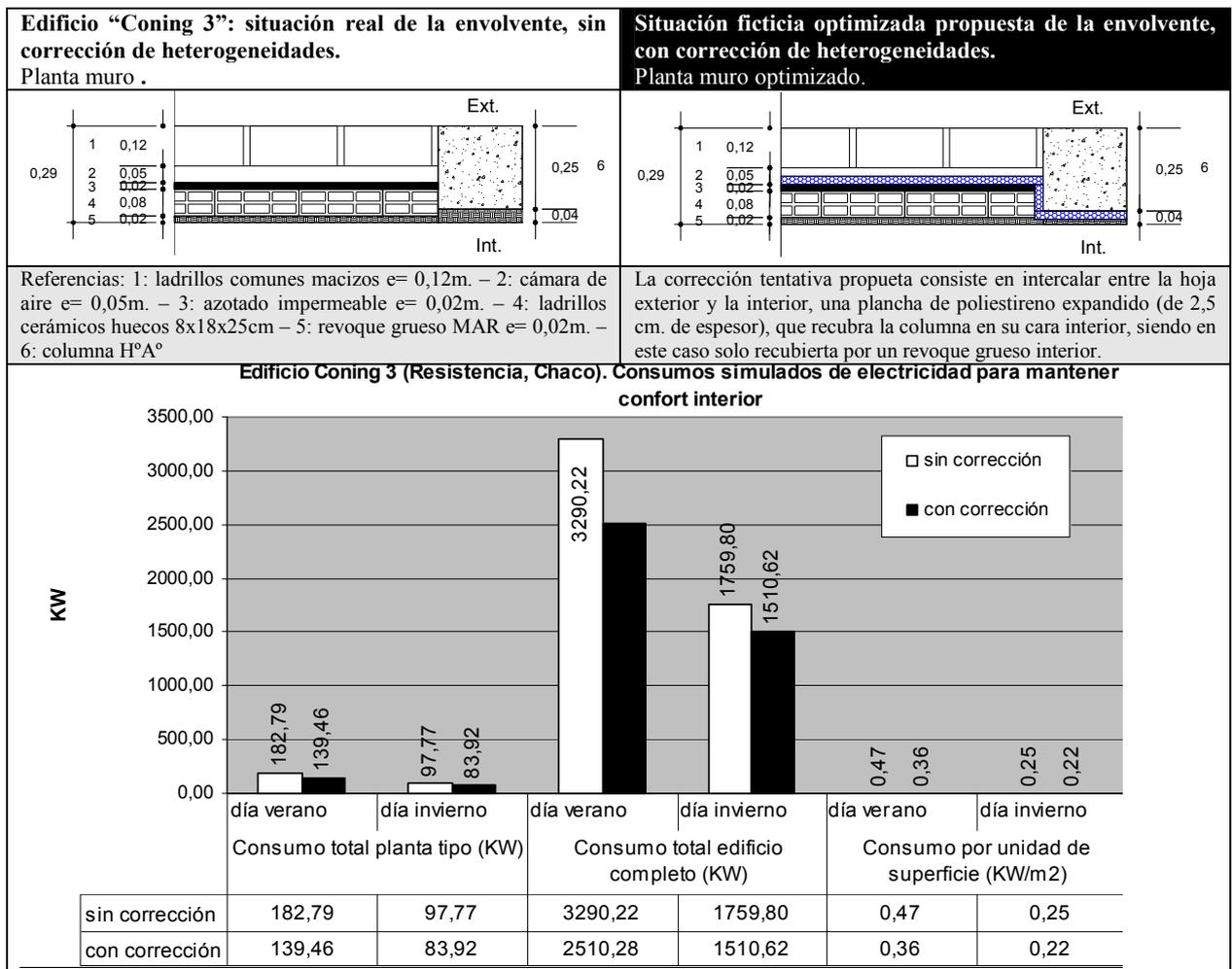


Figura 7. Edificio "Coning 3", Resistencia, Chaco. Consumos de electricidad para mantener el confort interior, según simulación con Quick II.

Para obtener los resultados de consumos eléctricos para la planta tipo completa, los resultados obtenidos para una unidad funcional fueron multiplicados por la cantidad en que dichas unidades funcionales se hallan en la planta tipo (4, en ambos edificios, sin tener en cuenta las diferencias que pudieran surgir entre una y otra unidad funcional por diferencias de orientaciones) y a ello se le sumaron los valores obtenidos para la zona de Circulaciones comunes. Para obtener los resultados para el edificio completo, se ha simplificado el problema multiplicando los valores obtenidos para la planta tipo por la cantidad de niveles del edificio (obviando tanto el nivel en contacto con el terreno natural como el último nivel). Al reemplazar la situación real de la envolvente por una situación mejorada propuesta, basada en aumentar la aislación térmica y/o homogeneizar las zonas con heterogeneidades causadas por los encuentros con la estructura portante (hasta el momento se plantearon alternativas de mejora sólo de los encuentros "muro – columnas", restando evaluar los puntos "muro – entrepiso" o "muro – suelo" y muro – vigas"), el índice diario de consumo de energía eléctrica para mantener el confort por unidad de superficie de la planta tipo se redujo casi un 24% con respecto a la situación original (figuras 6 y 7).

4.4. OTROS FACTORES PARA EL ANÁLISIS

Unidades Funcionales (UF) de los edificios simulados. Parámetros comparativos para el análisis								
	Sup. cubierta (m ²)	Sup. envolvente (m ²)	Volumen (m ³)	Sup. ventanas (m ²)	Factor de Forma FF (1/m)	Sup. ventanas/ Sup. cubierta	Consumo eléctrico diario p/confort verano (KW)	
							Con correcc. PT	Sin correcc. PT
1 UF Puesta Sol	151,92	79,56	395,17	20,08	0,20	0,13	61,98 KW 0,41 KW/m ²	78,87 0,52 KW/m ²
1 UF Coning III	84,81	53,94	226,11	11,80	0,24	0,14	32,09 0,38 KW/m ²	40,55 0,48 KW/m ²

Tabla III. Planilla de datos y factores relacionados, por Unidad Funcional, de cada edificio simulado.

Se obtuvieron parámetros de cada UF de edificio analizado, como el Factor de Forma (FF), que relaciona la superficie de envolvente con el volumen, y el factor que relaciona la superficie de aventanamientos con la superficie cubierta (Tabla III). Hasta el momento, y con sólo dos edificios analizados y simulados, resulta apriorístico intentar encontrar otro tipo de relaciones, como por ejemplo la del FF con respecto a la Superficie cubierta en cada UF de la planta tipo, o el Consumo con el FF, pero sin duda con más cantidad de edificios analizados, las relaciones entre estos datos y factores podrían arrojar resultados potenciadores del trabajo. A simple vista, al aumentar el FF (departamento más abierto, con mayor desarrollo de la

sup. envolvente) el consumo eléctrico para mantener el confort por unidad de superficie cubierta disminuye, pero esto necesita ser validado con mayor cantidad de casos.

5. OPTIMIZACIONES TENTATIVAS PROPUESTAS

Hasta el momento, las propuestas de alternativas de mejora de los encuentros “estructura portante – envolvente” de edificios en altura simuladas se han centrado en las uniones “muro – columnas”, restando evaluar los otros puntos de encuentros característicos de la estructura con los cerramientos, así como plantear otras alternativas de optimización de las uniones “muro – columnas”, como podría ser la colocación de aislación térmica por el exterior, como forma de homogeneizar todas las superficies. Si bien no es objetivo de este trabajo, la determinación del espesor de la aislación térmica podría obtenerse del conocimiento de la resistencia térmica “R” del cerramiento ($R=1/K$), que permite resolver una serie de posibilidades:

- Dado el espesor y el material de un muro se pueden determinar K (transmitancia térmica) ó R.
- Fijado el K o el R a obtener se deja libre el resto; siendo α_i y α_e constantes, para un caso dado e y λ son las variables; el problema se resuelve fijando uno de ellos. Por ejemplo, fijando el espesor se determina λ y luego se elige el material que responda a las necesidades constructivas y a dicho λ ; o bien determinado el material aislante a utilizar, se conoce así λ y se calcula luego el espesor a dar para obtener la resistencia requerida: $e = \lambda \{ (1/K) - (1/\alpha_i + \Sigma e/\lambda + 1/\alpha_e) \}$

e es el espesor de cada capa que constituye el cerramiento, buscándose determinar en este caso, el espesor de aislación

λ es el coeficiente de conductividad térmica, correspondiendo el primero que aparece en la fórmula, al del material aislante térmico

Rsi ($1/\alpha_i$) es la resistencia superficial o pelicular interna

Rse ($1/\alpha_e$) es la resistencia superficial o pelicular externa

Cualquiera sea la alternativa de mejora, se parte de la idea de que la homogeneidad de la temperatura superficial interior necesita una homogeneidad de material en la cara interior, que podrá ser aislante o conductora (no necesariamente una alternativa de optimización propuesta deberá incluir la incorporación de algún material aislante térmico). La homogeneidad de material además asegura un comportamiento homogéneo de pinturas y terminaciones superficiales interiores.

6. CONCLUSIONES PRELIMINARES

La hipótesis según la cual las mejoras en el aislamiento térmico y la corrección de heterogeneidades en las resoluciones constructivas de los encuentros entre la envolvente y la estructura portante de edificios en altura (tendiendo a homogeneizar la distribución de temperaturas en los cerramientos envolventes), permitirían importantes ahorros de energía eléctrica para el acondicionamiento interior, ha sido en gran parte verificada, restando aún analizar y simular las fluctuaciones térmicas y los consumos eléctricos para acondicionamiento de los ambientes de dos de los edificios seleccionados como UA. Al reemplazar la situación real de la envolvente de los edificios analizados por una situación mejorada propuesta, el índice diario de consumo de energía eléctrica para mantener el confort por unidad de superficie se redujo casi un 24%. En vista de lo realizado, puede decirse que el desempeño energético actual de los edificios de Resistencia y Corrientes estudiados, considerado como dependiente en gran medida de las características de materialización de sus envolventes y de su estructura, resulta intensivo y que las resoluciones constructivas actualmente aplicadas en los encuentros entre la envolvente y la estructura portante no satisfacen las condiciones mínimas de habitabilidad higrotérmica que permitan, al menos, evitar los puentes térmicos y el riesgo de condensación superficial asociado. Las características tecnológicas recurrentes detectadas representan una limitación de la construcción actual de edificios en altura, que demuestran cierta inercia a conservar sistemas de ejecución que no dan solución a situaciones como los importantes puentes térmicos constructivos y la escasa penetración de las aislaciones en las envolventes. Se verifica la necesidad de un estudio de las posibilidades de corrección de las discontinuidades generadas en las uniones “estructura – envolvente” y del comportamiento energético concomitante. Con los procedimientos aplicados se efectivizó la evaluación preliminar del comportamiento higrotérmico y energético teórico del cerramiento vertical de edificios, que se demuestra como “clave” para sus intercambios energéticos con el medio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alías, H. M. y Jacobo, G. J. (2004). *Simulaciones del consumo de energía eléctrica para mantener el confort en verano e invierno en viviendas con envolventes de madera y de mampostería*, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) Vol. 8. N°1. Salta, Argentina. Págs. 37 a 42. ISSN 0329-5184.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (1996). Norma 11603: *Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina*.
- Marusic, J. A. (1999). *Ensayos y Optimización de aspectos bioclimáticos para el diseño de edificios en altura*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) Vol. 3 N°1. Presentado al XXII Congreso de la Asociación de Energías Renovables y Ambiente (ASADES).
- Mathews, E. H. et al. (1997). User's and reference manual for QUICK II. *A passive thermal design tool and load calculation computer program. TEMMI. Transfer of Energy Mass and Momentum*, Sudáfrica. International (Pty) Ltd. Traducción propia de Alías, H. M., autora.
- San Juan, G. y Evans, J. M. (1995). *Evaluación de puentes térmicos en paneles livianos en el reciclado de una escuela*. Actas de la XVIII reunión de trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES). Tomo I.

ABSTRACT: Starting from a report of twenty-seven tower buildings built in the cities of Resistencia and Corrientes, (Northeast region of Argentina, of very warm and humid climate), besides analyzing their situational, functional and technical/constructives variables, it was made a study of hygrothermal and energetic behaviors of the frame and the walls forming the shell of this buildings, applying normative IRAM of hygrothermal habitability and making simulations with the software QUICK II, so much for the real situation of materialization of the shells of this buildings, like for a theoretical optimized proposal situation. As a result, it intends to improve the levels of insulation and the constructive resolutions of the "shell - frame" encounters, to obtain conditions of comfort and rational use of energy. It is verified that to attenuate the thermal bridges redounds in an hygrothermal optimization, a saving of conventional energy for the interior conditioning and consequently, a more sustainable environment. **Keywords:** energy consumption – towers –thermal bridges