

## VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO EN EDIFICACIONES SINGULARES DEL NEA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE PROGRAMAS INFORMÁTICOS DE SIMULACIÓN DINÁMICA.

Boutet, M. L.<sup>1</sup>; Jacobo, G. J.<sup>1</sup>; Busso, A. J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Cátedra Estructuras II. Área de la Tecnología. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. U.N.N.E.  
Campus Resistencia – Av. Las Heras 727 – 3500 Resistencia

Tel: +54 3722 425573/ e-mail: [lauraboutet@yahoo.com.ar](mailto:lauraboutet@yahoo.com.ar) / [gjjacobo@arq.unne.edu.ar](mailto:gjjacobo@arq.unne.edu.ar)

<sup>2</sup> G.E.R – Grupo en Energías Renovables – FaCENA – U.N.N.E.

Campus Libertad – Av. Libertad 5460 – 3400 Corrientes

Tel: +54 3783 473931 int. 129 / Fax: +54 3783 473930/ e.mail: [ajbusso@gmail.com](mailto:ajbusso@gmail.com)

**RESUMEN:** En este trabajo se presentan los resultados de la simulación del comportamiento higrotérmico – energético de dos edificios singulares ubicados en las ciudades de Resistencia y Corrientes, mediante el programa ECOTECT vs.5.20. Los mismos poseen, en su situación de diseño y de construcción real originaria existente, un bajo nivel de habitabilidad higrotérmica, con altos porcentajes de desconfort mensuales para los usuarios fijos y eventuales, durante todo el período anual, por lo cual registran un alto consumo de energía eléctrica para acondicionamiento ambiental. A partir de propuestas de soluciones tecnológicas en la envolvente constructiva, se pudo inferir que es posible una reducción sustancial del consumo de energía eléctrica para la climatización de la edificación arquitectónica de la Región N.E.A., mejorando los niveles de confort higrotérmico y en consecuencia, logrando una mejor calidad de vida en los espacios interiores.

**Palabras clave:** Energía solar, Simulación dinámica, Comportamiento térmico

### INTRODUCCIÓN

#### Marco de Referencia

Argentina se encuentra ante un agotamiento final de sus reservas probadas de hidrocarburos, recursos naturales no renovables y estratégicos para el crecimiento económico. El abastecimiento propio de petróleo y gas natural, así como la satisfacción de las necesidades energéticas, estarán más que comprometidas en el quinquenio 2010 – 2015. De acuerdo al estudio realizado por De Dicco, R. (2004), Argentina tiene reservas probadas de petróleo para 9 años y de gas natural para 12 años, al actual ritmo de producción (Cuadro 1). El 90% de consumo por fuentes de energía primaria corresponde a hidrocarburos (47% petróleo y 43% gas natural). Mientras que el 60% de la generación de energía eléctrica se compone de centrales termoeléctricas (la mayoría abastecidas con gas natural, las restantes con gas – oil y fuel – oil). Fig. 1

| Relación Reservas Probadas / Producción, de petróleo y gas natural en Argentina, año 2003 |  |                        |  |  |                        |
|---|--|------------------------|--|--|------------------------|
| Petróleo  |  |                        | Gas Natural                              |  |                        |
| Producción<br>(en MM de m <sup>3</sup> )  | Reservas<br>(en MM de m <sup>3</sup> ) | Relación R/P<br>(años) | Producción<br>(en MM de m <sup>3</sup> ) | Reservas<br>(en MM de m <sup>3</sup> ) | Relación R/P<br>(años) |
| 46.752  | 449.072                                | 9,6                    | 54.037                                   | 663.578                                | 12,3                   |

Cuadro 1: Relación Reservas probadas/ Producción de petróleo y gas natural en Argentina. Fuente: De Dicco (2004)

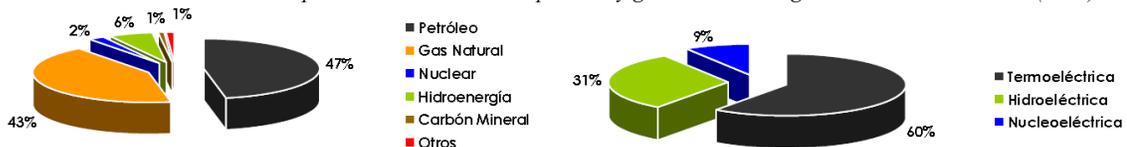


Figura 1. Izq. Matriz de consumo por fuentes de energía primaria. Der. Matriz de suministro eléctrico por tipos de centrales. Argentina, 2003. Fuente: De Dicco (2004) en base a datos consultados en el sitio web: <http://energia.mecon.gov.ar>

De no ser transformada la configuración actual de las matrices presentadas anteriormente, las dificultades para satisfacer las crecientes necesidades energéticas de la estructura económica del país serán cada vez más complejas. En este escenario de *Crisis Energética* y frente a la gran amenaza que representa el *Cambio Climático Global*, las Energías Renovables se convierten en una alternativa clara frente a las energías convencionales, en todo el proceso constructivo. Considerando que dentro de la matriz energética nacional, el sector edilicio contribuye con casi el 30% del consumo, un gran porcentaje de ahorro de energía convencional puede lograrse mediante el aprovechamiento del recurso solar (energía renovable por excelencia) en los edificios no residenciales, principalmente oficinas y escuelas, que exigen, además de las necesidades de acondicionamiento térmico, las de acondicionamiento lumínico.

#### Objetivos del Trabajo

En la Región NEA (calificada por el IRAM como: “muy cálida – húmeda”), las ganancias térmicas debido a la radiación solar incidente sobre los edificios, principalmente aquellos cuya envolvente constructiva se concreta mediante el uso masivo del “vidrio”, tienen una influencia importante en el sobrecalentamiento de los espacios interiores y por consiguiente en el

consumo energético para climatización. Según lo expuesto y fundamentado con un estudio previo de casos edificios singulares en ambas ciudades, los objetivos generales de este trabajo fueron:

- a) *Verificar el comportamiento termo energético de los edificios del Banco del Chaco, sede central Resistencia y del Poder Judicial de la ciudad de Corrientes (Ex Banco de Corrientes), mediante la aplicación de la herramienta informática de simulación dinámica ECOTECT vs.5.20 (Marsh A. J., 2003);*
- b) *Optimizar la relación entre el comportamiento energético anual y el clima local, considerando variables de diseño bioclimáticas pasivas, que contribuyan a lograr las condiciones de confort con un mínimo o nulo consumo de energía.*

### PRESENTACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Los casos de estudio de este trabajo de investigación aplicada se seleccionaron teniendo en cuenta que ambos son edificios singulares construidos en la década de 1970, por su grado de complejidad funcional y volumétrica, y además, debido a la tecnología de construcción utilizada (importantes superficies perimetrales vidriadas), por lo que pueden ser tomados como referencia en trabajos similares con otras tipologías arquitectónicas del NEA.

#### Caso de Estudio A. Banco de la Provincia del Chaco

El edificio del Banco del Chaco (Fig. 2) fue proyectado por el reconocido estudio de los arquitectos *Antonini, Schön, Zemborain & Asociados* (1971) y ejecutado a través de un Concurso Nacional de Arquitectura. Su situación geográfica corresponde a la Zona Ambiental: IA (cálida – húmeda), latitud 27°27'05"S y longitud 58°59'12"O. Posee una superficie cubierta de 11.500,82 m<sup>2</sup>, es de semi perímetro libre, cuenta con cinco pisos y tiene una implantación significativa dentro del ejido urbano de la ciudad de Resistencia, Provincia del Chaco. Sus fachadas urbanas se encuentran protegidas de la acción solar por un parasolado, que conforma una caja exterior independizada de los planos vidriados en tres de sus frentes críticos a la acción solar (NE, NO y SO). Los parasoles están constituidos por una estructura en marco de H° A°, donde se encuentran insertas las lamas metálicas. La cubierta basa su protección solar en un sobretecho de losetas premoldeadas de H° A° apoyadas sobre pilares de ladrillos, que funciona como atenuante climático, pues conforma una cámara de aire ventilada superior. Sin embargo, al ser el conjunto volumétrico compacto y hermético, con una mínima renovación de aire por infiltración y un volumen mucho mayor a la superficie de la envolvente (factor de forma 0.3), posee una alta capacidad para almacenar calor. Sumado a ello, la importante superficie de área vidriada es el 48% del área de fachada y el 21% con respecto al área de piso, lo que significa que el área de fachada expuesta al sol es superior, y por consiguiente hay un alto ingreso de radiación solar (principalmente indirecta). Además se detectan filtraciones en la envolvente de las plantas correspondientes a la Casa Central del Banco, un frente integral de un solo paño de vidrio templado de 10 mm con marcos metálicos, lo que hace evidente los problemas de impermeabilización y de aislación térmica.

#### Caso de Estudio B. Poder Judicial de Corrientes

El edificio del Poder Judicial (Fig. 3), antigua sede del Banco de la Provincia de Corrientes, también fue concretado por medio de un Concurso Nacional de Arquitectura, cuyo ganador fue el estudio de arquitectos *Manteola, Petchersky, Sánchez Gómez, Santos, Solsona y Viñoly* (1970). Se sitúa en la Zona Ambiental: IA (cálida – húmeda), latitud 27° 28' 0" Sur longitud 58° 50' 0" Oeste, ubicándose en el casco histórico de la ciudad de Corrientes. Con una superficie cubierta de 10.000 m<sup>2</sup> se organiza en volúmenes bien diferenciados: uno central totalmente acristalado (un solo paño de vidrio sin cámara de aire) y hermético con estructura metálica, relacionado con circulaciones horizontales metálicas a dos bloques de H° A°, al Norte opaco y al Sur, con una fachada vidriada (doble vidriado laminado con sistema interno de persianas venecianas). Posee un factor de forma más alto que el del Banco del Chaco (0,8) pero aún no se encuentra dentro de los valores recomendados para clima cálido (superior a 1.2). La superficie vidriada es el 55% del área de fachada y con respecto al área de piso, del 52%, lo que implica un alto ingreso de radiación solar (directa e indirecta). Además, el volumen del edificio se implantó con orientación plena, recibiendo así las radiaciones del Este y Oeste, en sus dos fachadas acristaladas (vidrio crudo de 6mm), las que tuvieron que ser protegidas por una estructura de parasoles metálicos, que no fueron contemplados en el proyecto original. El edificio está concebido para trabajar presurizado, con un microclima creado artificialmente por medio de equipos de acondicionamiento ambiental electromecánicos. Si existen ventanales abiertos la fuga del aire frío desequilibra el sistema, no alcanzando la planta una temperatura confortable.



Figura 2. Banco de la Provincia del Chaco Sede Central Resistencia (Arqs. Antonini, Schön, Zemborain & Asociados, 1971)



Figura 3. Poder Judicial de Corrientes (Arqs. Manteola, Petchersky, Sánchez Gómez, Santos, Solsona y Viñoly, 1970).

### METODOLOGÍA DE MODELIZACIÓN APLICADA A LOS CASOS DE ESTUDIO

La simulación dinámica como herramienta de diseño y verificación, es una técnica que permite predecir los cambios climáticos horarios manifestados por los edificios, en relación a las condiciones exteriores. Luego de haber comparado el rendimiento de los programas TRNSYS 15 (Solar Energy Laboratory, 2004) y ECOTEC 5.20 (Marsh A. J., 2003), se optó por la aplicación de este último, por su versatilidad. Es un software desarrollado en la *Escuela de Arquitectura de la*

Universidad de Australia Occidental, cuya ventaja es la modelización mediante una interfaz 3D, integrada con una amplia gama de funciones para análisis solar, térmico y lumínico, entre otras. El programa realiza cálculos internos y resuelve ecuaciones de balance de energía en estado no estacionario o transitorio, mediante el “Método de Admitancia” (Admittance Method) de CIBSE (Chartered Institute of Building Services Engineers). Se trata de un método simplificado que calcula la variación instantánea de las condiciones internas de los locales respecto a su media, integrando los efectos del flujo de calor por conducción a través de la envolvente constructiva, infiltración y ventilación a través de las aberturas, ganancia solar directa a través de materiales transparentes, ganancia solar indirecta a través de elementos opacos, las ganancias de calor internas de los equipos, luces y personas y los efectos del flujo de calor entre zonas. Este programa fue gestionado por el Arq. G. Jacobo en el año 2005 en la República Federal de Alemania, con licencia para uso académico hasta el año 2030.

**1. Descripción geométrica del modelo.** Se reprodujo gráficamente la distribución de locales, considerándolos como zonas térmicas. Se realizaron pruebas para cada caso de estudio hasta obtener un modelo óptimo con características que lo acerquen a su situación real. Se determinaron además las zonas no térmicas consideradas en el análisis de sombras.

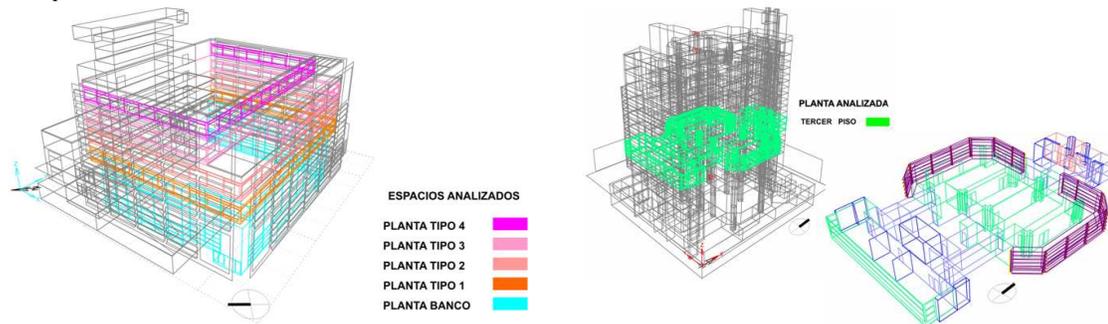


Figura 4. Modelización de zonas térmicas Banco del Chaco. Figura 5. Modelización de zonas térmicas. 3° Piso Poder Judicial de Ctes. Elaboración propia mediante ECOTECT.

**2. Asignación de materiales.** A partir de la base de datos del programa, se asignaron los materiales de cada una de las superficies componentes (paredes, techos, aberturas) y sus propiedades de acuerdo a sus capas constitutivas, coeficientes de conductividad térmica, densidad y calor específico. Dichos valores se verificaron y ajustaron, teniendo en cuenta las normativas vigentes IRAM 11.601 de habitabilidad higrotérmica y los nuevos resultados fueron volcados en una base de datos en Excel, en la que también se calcula el retraso térmico que no es dado por el programa. Una vez asignados los materiales, se obtuvieron distintas visualizaciones del modelo renderizado.

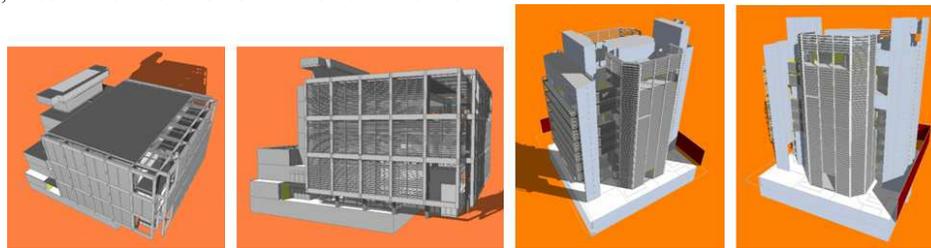


Figura 6. Renderización de modelos. Fuente: Elaboración propia mediante ECOTECT vs. 5.20

**3. Variables ambientales.** Como el programa original no tiene incorporados archivos de clima de nuestra zona geográfica, se utilizó un archivo de clima editado previamente, con variables climáticas de la ciudad de “Asunción” (Paraguay, latitud -25.2; longitud -57.6), publicado por la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable – Departamento de Energía de Estados Unidos (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy – EERE), a través de la subrutina “The Weather Tool”, incorporándolo a la biblioteca de ECOTECT. La longitud de las ciudades Resistencia-Corrientes (Argentina) difiere en sólo 2° respecto de la de Asunción y esto no genera una discrepancia significativa, debido a las similitudes climáticas, meteorológicas y geográficas de ambos sitios. Los datos climáticos incluyen: temperatura, humedad relativa, radiación solar total o global y difusa y velocidad de vientos, medidos en forma horaria, para cada día del año.

**4. Estudio de Soleamiento:** “ECOTECT” permitió analizar la trayectoria solar para cualquier día del año y durante las 24 horas, de manera rápida y sencilla y realizar la simulación de sombras, incluyendo una gama amplia de análisis.

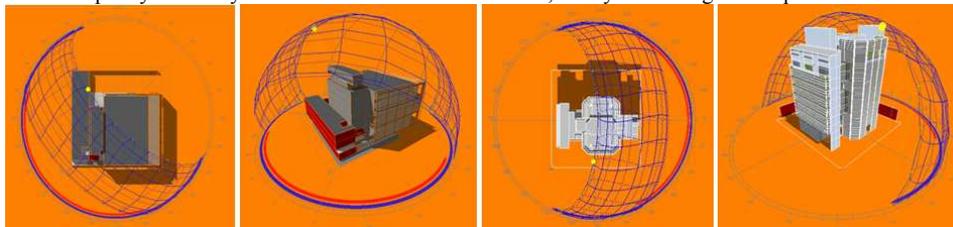


Figura 7: Trayectoria solar diaria y anual. Día estival. 10,00 hs. Fuente: Elaboración propia a través de ECOTECT vs 5.60

**5. Análisis Térmico.** Previa definición de condiciones operativas, en cuanto a perfiles de ocupación, sistemas de ventilación y fracción de infiltración para cada espacio analizado, se procedió al análisis de comportamiento térmico propiamente dicho.

Como resultado del procedimiento de modelización aplicado con dicha herramienta informática, se obtuvo la simulación de la evolución de temperaturas internas de todas las zonas térmicas de las unidades de análisis sobre un período de 24 horas, para un *día de diseño de verano* (máxima extrema) y un *día de diseño de invierno* (máxima extrema), cuantificando además la magnitud de cada tipo de carga térmica para cada hora del día seleccionado y para todos los meses del año, mostrando excesivas ganancias en verano y pérdidas en invierno, posicionando a los edificios fuera de los límites de confort durante la mayor parte del año. En las verificaciones, si bien se procesan los edificios completos, sólo se analizan los datos correspondientes a las “zonas operativas principales”, que se corresponden con las *áreas públicas*, al ser el objetivo la determinación de las condiciones de confort en las áreas vidriadas. Las gráficas de simulaciones expuestas a continuación, fueron obtenidas en ambos casos de estudio, para la situación crítica de “verano”, más desfavorable en cuanto a consumo energético para acondicionamiento ambiental. Las mismas son a modo ilustrativo, pues el análisis fue realizado para cada una de las zonas operativas de ambos edificios en particular.

**A. Temperaturas Horarias.** Las gráficas muestra la evolución de *temperaturas medias del aire interior horarias para el día de diseño de verano* y la información medioambiental que toma los datos del archivo de clima, lo que permite estudiar a qué factores climáticos externos están respondiendo las temperaturas internas.

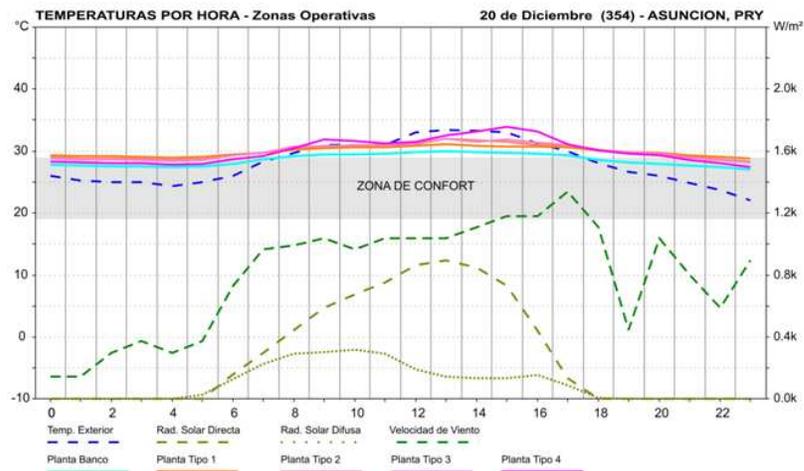


Figura 8: Evolución de temperaturas medias del aire interior horarias para el día de diseño de verano. Zonas principales del edificio del Banco del Chaco. Fuente: Valores simulados mediante ECOTECH 5.20

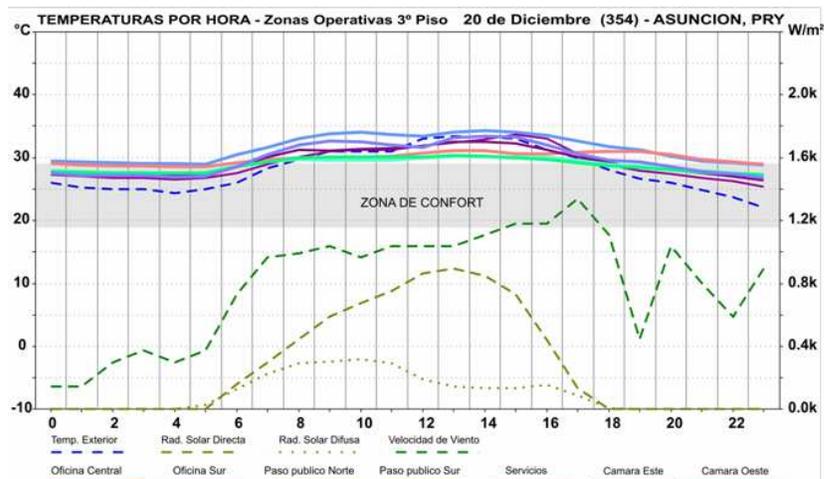


Figura 9: Evolución de temperaturas medias del aire interior horarias para el día de diseño de verano. Planta tipo 3° piso del edificio del Poder Judicial de Corrientes. Fuente: Valores simulados mediante ECOTECH 5.20

En la Figura 8 se observa que los valores de temperaturas internas de las zonas operativas principales se encuentran más elevados con respecto al límite superior admisible del área preestablecida de confort (19°C - 29°C), particularmente durante los periodos de ocupación (6,00 a 22,00 hs). La “Planta tipo 4” llega a un máximo de 34.1 °C a las 15,00 superando la temperatura ambiente exterior con bruscas fluctuaciones, manifestándose un retraso térmico de 3 horas en la ocurrencia del pico máximo, con respecto a la temperatura ambiente exterior. La Figura 9 corresponde a la evolución de temperaturas del tercer piso del Poder Judicial para el día de diseño de verano. Los espacios permanecen la mayor parte del tiempo por fuera del límite superior de la banda de confort, estando condiciones críticas el “Paso Público Sur”, cuya temperatura alcanza un máximo de 34.3 °C a las 14,00 hs, superando la temperatura ambiente exterior durante todo el día.

**B. Ganancias de Calor.** El gráfico de ganancias/ pérdidas de calor muestra la magnitud de cada tipo de carga de calor, para cada hora del día seleccionado, actuando en las zonas térmicas del modelo sobre un período de 24 horas. Las variables analizadas en este caso son: “Conducción”, a través de la envolvente perimetral; “Solar indirecta”, por ganancia solar en superficies opacas; “Solar directa”, a través de aberturas transparentes; “Ventilación e infiltración”, a través de rendijas y aberturas; “Internas”, generadas por personas, luces y equipamiento; “Inter-zonales”, por traspaso de energía entre espacios interiores.

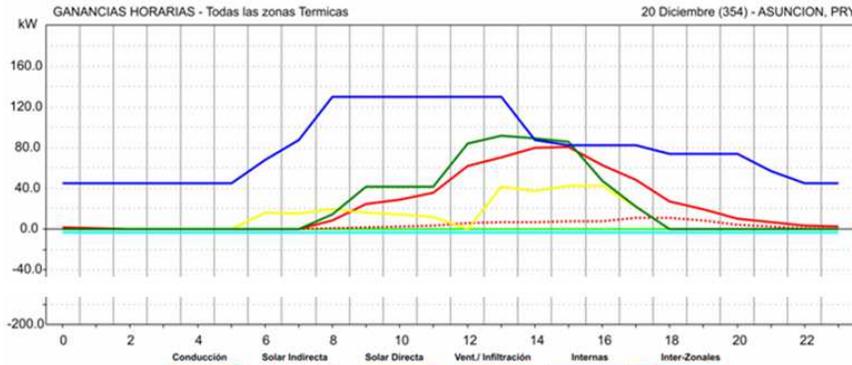


Figura 10: Ganancias de Calor Horarias de todas las zonas térmicas del Banco del Chaco. Día de diseño de verano. Fuente: Valores simulados mediante ECOTECT 5.20

En la Figura 10 se observa que las máximas cargas de calor para todas las zonas del Banco del Chaco, provienen de las “ganancias internas” debidas a personas, luces y equipos eléctricos durante el período de máxima ocupación entre las 8,00 y las 13,00 hs (1.906.264 Watts). Para la obtención de dichos datos se editó previamente un cronograma anual donde se especificó el porcentaje de ocupación en las diferentes horas y para cada día del año. El programa incorpora un valor estándar en Watts por metro cuadrado como ganancia sensible debida a iluminación y equipamiento informático para la función de “oficina”. Las cargas por “conducción” (657.839 W) son superiores en horas del mediodía, descendiendo progresivamente al cesar las horas de sol. Son muy elevadas las ganancias por “infiltración” (559.723 W) a través de las superficies vidriadas en el período de máxima temperatura exterior, lo que demuestra que la envolvente constructiva no es hermética. Las ganancias solares directas (279.394 W) son superiores entre las 13,00 y las 16,00, horas de máxima temperatura exterior, por lo que se deberá proteger especialmente las orientaciones Oeste y Suroeste. La radiación solar indirecta no es significativa. Se registran pérdidas inter – zonales totales de (-) 85.175 W.

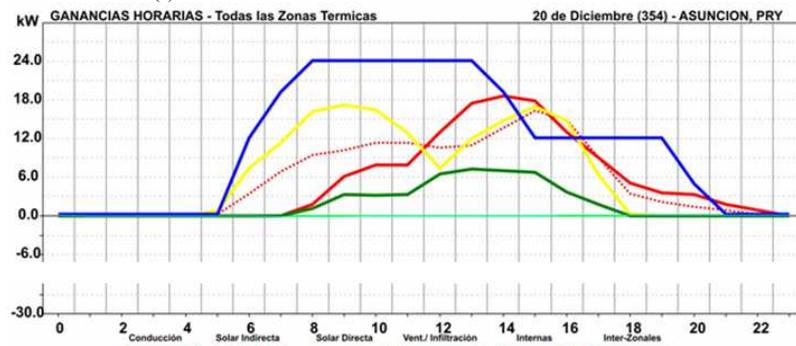


Figura 11: Ganancias de Calor Horarias de todas las zonas térmicas visibles planta tipo 3º piso Poder Judicial Corrientes. Día de diseño de verano. Fuente: Valores simulados mediante ECOTECT 5.20

En la Figura 11 se observa que las máximas cargas de calor para todas las zonas del 3º piso del Poder Judicial de Corrientes, provienen de las “ganancias internas” debidas a personas, luces y equipos eléctricos, que alcanzan durante el período de máxima ocupación entre las 8,00 y las 13,00 hs, 24.025 Watts. En segundo término, las ganancias por “conducción”, que se hacen mayores en horas del mediodía, seguidas por las de radiación solar directa, que ascienden cuando el sol incide sobre las caras vidriadas al Este con 17.183 W a las 9,00 hs y al Oeste, con 16.999 W a las 15,00 hs., decayendo en horas del mediodía. Las ganancias por “radiación solar indirecta” son considerables al Oeste.

**C. Período de Discomfort.**

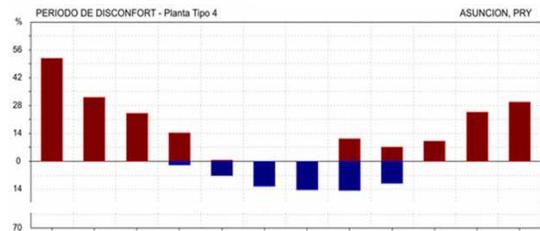


Figura 12: Porcentajes de Discomfort de la Planta Tipo 4. Banco del Chaco. Valores simulados mediante ECOTECT.

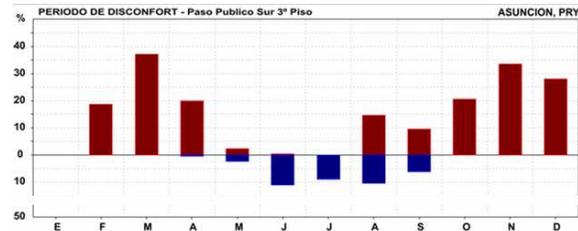


Figura 13: Porcentajes de Discomfort del Paso Público Sur. Poder Judicial Ctes. Valores simulados mediante ECOTECT.

En este punto se calculó la cantidad de tiempo, en porcentaje para cada mes, que la temperatura interna está fuera de las condiciones de confort, considerando la cantidad de usuarios del edificio y los períodos de ocupación especificados. El gráfico muestra en barras rojas, el porcentaje de “*disconfort calor*” y en barras azules, el porcentaje de “*disconfort frio*”, cuando la temperatura ambiental interior sobrepasa uno de los límites del área de confort apropiada para la región, 19,0°C – 29,0°C respectivamente. En las oficinas del Banco del Chaco (Fig. 12), el período de ocupación es más prolongado, desde las 6,00 hasta las 22,00hs, y sumado al menor volumen de dichas plantas, se genera un mayor nivel de disconfort en verano, con un máximo de 51,61% en enero. En el caso público Sur correspondiente al 3° piso del Poder Judicial (Fig.13) son más significativos los valores de disconfort calor que ascienden al 37,10 % en marzo y 33,47 % en noviembre. En invierno, los valores de disconfort son moderados.

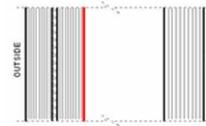
## PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA

Según el diagnóstico obtenido a partir de las simulaciones dinámicas de los casos de estudio, con la herramienta informática específica ECOTECT vs. 5.20, se observó que los mismos poseen en su situación de diseño y de construcción real originaria existente, *un bajo nivel de habitabilidad higrotérmica, con altos porcentajes de disconfort mensuales para los usuarios fijos y eventuales, durante todo el periodo anual, para lo que es necesario un alto consumo de energía eléctrica a fin de generar las condiciones higrotérmicas de habitabilidad, mediante la instalación de equipos electromecánicos.* Como referencia de ello, se pueden mencionar los valores de consumo máximo registrados en el año 2004, de acuerdo al relevamiento realizado en ambas instituciones, que ascienden en el *Banco del Chaco a 203.640 Kwh para el mes de febrero*, mientras que en el *Poder Judicial a 231.696 Kwh para el mes de marzo*. Por tal motivo, ante el déficit notorio de capacidad de protección térmica de las envolventes constructivas de ambos edificios singulares, se efectuaron tres propuestas de optimización energética respectivamente, con la intención no de modificar completamente la arquitectura de los edificios, sino más bien de mejorar gradualmente su performance, testeando diferentes estrategias de diseño bioclimático, haciendo uso de las innovaciones tecnológicas que ofrece la industria del vidrio, teniendo especialmente en cuenta, soluciones disponibles en el mercado local y nacional, accesibles en términos económicos y de ejecución, que permitan reducir el consumo de energías convencionales. En las propuestas se combinaron las siguientes Pautas de Diseño:

1. *Evitar la incidencia directa de la radiación solar sobre las superficies vidriadas, optimizando la geometría de la retícula de parasoles.* Por medio de distintos dispositivos técnicos (parasoles, aleros) con un ángulo de inclinación apropiado, se protegió convenientemente de la radiación del verano (directa e indirecta) sobre las superficies vidriadas de las fachadas, generándose espacios protegidos y con sombras propias, que mejoran el comportamiento térmico de los componentes constructivos verticales perimetrales, pues se reducen las ganancias térmicas desde el exterior al disminuir el valor de la temperatura superficial (sol – aire) de la capa límite de aire lindante con las superficies verticales externas.
2. *Aumentar la reflectividad de los componentes constructivos opacos, suavizando el color de terminación de los mismos.* Al tratar las superficies exteriores con colores claros, especialmente con blanco, se aumentó el coeficiente de reflectividad, disminuyendo la absorción de la energía calórica.
3. *Disminuir los valores de las propiedades térmicas del vidrioado haciendo uso de los avances tecnológicos actuales.* Con una correcta combinación de los parámetros K (coeficiente de transmitancia térmica), CS (coeficiente de sombra) y %T (porcentaje de transmisión), se disminuye considerablemente el ingreso de radiación solar al edificio, minimizando la emisión de energía hacia los espacios.
4. *Regular la fracción de infiltración según las diferentes horas del día y las distintas estaciones del año.* Restringiendo el ingreso de aire caliente por infiltración en las horas de mayor temperatura y maximizando la liberación del calor acumulado durante las horas de menor temperatura exterior (ventilación selectiva) en verano, se ha comprobado una notable reducción de las temperaturas interiores de hasta 5°C, con la posibilidad de generar ventilación cruzada en todos los espacios. La interconexión que existe entre los ambientes (a través de doble altura o de carpinterías internas) facilita una distribución más homogénea de las ganancias térmicas que obtuvieron aquellos espacios expuestos a la radiación solar hacia aquellos otros que se encuentran en sombra. Este fenómeno se refleja en los altos valores de ganancias térmicas “*Inter-zonales*”. Así por medio de los espacios nexos (núcleos de escaleras y ascensores) “*respira*” todo el edificio, mediante la materialización del concepto de “*enfriamiento pasivo*” por el “*efecto chimenea*” de ventilación natural ascendente.
5. *Aumentar la resistencia térmica de los componentes opacos más expuestos, incorporando aislación térmica y evitando puentes térmicos.* Al incorporar aislación térmica (aislamiento resistivo) en los casos necesarios y reemplazar las carpinterías existentes por sistemas con ruptura de puentes térmicos (RPT), se obtuvo una reducción sustancial de los valores del *Coficiente de Transmitancia Térmica (K)*, con el consiguiente aumento de la *Resistencia Térmica* de los componentes constructivos y un mayor *Retraso Térmico*, que permite regularizar la evolución de las temperaturas internas de los ambientes analizadas. No obstante ello, se debió ser cuidadoso al momento de reducir los valores del Coeficiente de Transmitancia Térmica (K) de los componentes opacos. Este recurso debe estar combinado con una adecuada renovación de aire. De lo contrario, los edificios, cuyo principal elemento constitutivo de la envolvente es el vidrio, se comportarán como grandes acumuladores de energía calórica, al no poder liberar el exceso de calor contenido en los espacios, como se ha verificado a través de las simulaciones realizadas.

**Resultados optimizados.** Aplicando estas pautas de diseño, a todas las variantes estudiadas e implementando la misma metodología de modelización y análisis de la situación original, en estado transitorio, las alternativas que arrojaron mejores resultados para verano fueron aquellas en las que se aplicó Doble Vidriado Hermético (DVH) Laminado Reflectivo y para invierno, DVH Templado. Se optó por el DVH Laminado Reflectivo, al ser más crítica la estación de verano en la zona geográfica cálido-húmeda.

El uso del DVH responde a todas las necesidades de aislamiento, tanto para verano como para invierno. El incremento del costo inicial de esta solución no es significativo si se considera el importante ahorro energético que se obtiene con su implementación, durante la vida útil del edificio. Es importante considerar que el sistema de aire acondicionado actualmente en uso en ambos casos, debe controlar la carga solar sobre el edificio además del calor generado internamente. Reduciendo las ganancias directas con vidrios de control solar (aislamiento reflectante), vinculados a un régimen de infiltración de aire adecuado, la planta de aire acondicionado puede ser más pequeña y su funcionamiento más económico.



Doble Vidriado Hermético conformado por Vidrio Solar – E laminado 4+4mm con 0.78 mm PVB con revestimiento reflectivo bronce de baja emisividad en cara dos / cámara de aire 12 mm / Vidrio Float incoloro 6 mm. ( $K=1.3 \text{ W/m}^2\text{K} - CS=0.25$ )

Figura 14. DVH Laminado Reflectivo.

A modo de ejemplo de la optimización lograda, en la Figura 15 se comparan, para el día de diseño de verano, los valores simulados de temperaturas internas de las zonas que en su situación original (líneas de puntos) permanecían en condiciones más desfavorables, la “Planta Tipo 4 del Banco del Chaco” y el “Paso Público Sur del Poder Judicial de Corrientes”, con los valores simulados de temperaturas internas de los modelos rediseñados (líneas continuas). En la situación de rediseño, la curva correspondiente a la Planta Tipo 4 del Banco del Chaco (línea continua roja), se encuentra más próxima al límite superior admisible del área preestablecida de confort ( $19^\circ\text{C} - 29^\circ\text{C}$ ), con una tendencia más constante y con menos fluctuaciones, advirtiéndose que la temperatura máxima, ha descendido  $4^\circ\text{C}$  respecto al modelo original. Asimismo, en el caso del Paso Público Sur del Poder Judicial (línea continua azul) se advierte un descenso importante de la temperatura máxima, en  $4.6^\circ\text{C}$ , ubicándose durante todo el día dentro de la banda de confort.

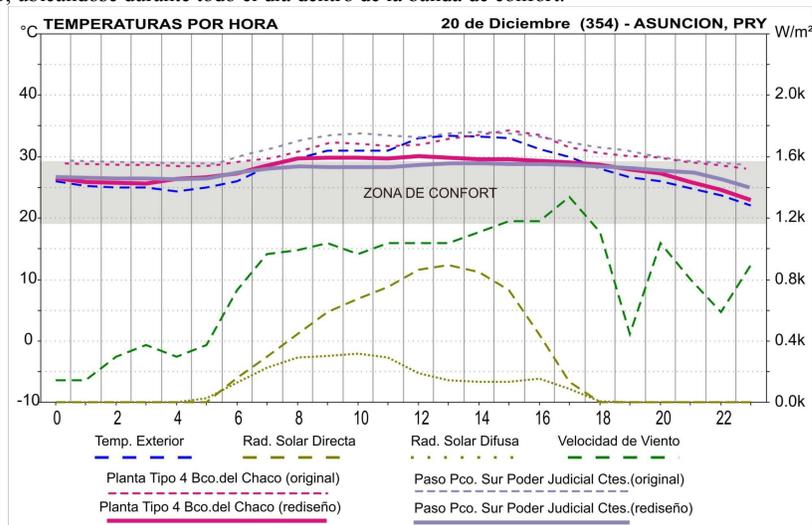


Figura 15. Comparación de la evolución de temperaturas simuladas de los modelos originales y rediseñados correspondientes a los dos casos de estudio. Día de diseño de verano. Fuente: Elaboración propia mediante ECOTECH.

## REDUCCIÓN DE DISCONFORT MENSUAL PROMEDIO

A partir de las propuestas de soluciones tecnológicas en la envolvente constructiva, se realizaron nuevos estudios con la herramienta informática específica (verificación de la situación real modificada), obteniéndose como resultado una **reducción de Discomfort Mensual Promedio de 20,5 % para el edificio del Banco del Chaco y de un 23,71 % para el edificio del Poder Judicial de Corrientes** (Tabla 1)<sup>1</sup>. Estos porcentajes de *Reducción de Discomfort Mensual Promedio* se traducen en la **reducción sustancial del consumo de energía eléctrica para la climatización de los espacios interiores y por consiguiente de los costos**, cuya estimación fue calculada.<sup>2</sup>

Aplicando el porcentaje de Reducción de Discomfort Mensual Promedio (20,50%), la diferencia de consumo entre el edificio del Banco del Chaco en su situación original y el edificio rediseñado es sustancial, 337.561 kWh anuales, con su equivalente en costo de \$ 74.769 anual. De la misma manera, para el Poder Judicial de Corrientes, aplicando el porcentaje de Reducción de Discomfort Mensual Promedio (23.71%), se obtiene una diferencia de consumo de 358.327 kWh y de \$79.435 anuales;

<sup>1</sup> A partir de los valores de discomfort total anual obtenidos como resultado de la simulación de cada modelo rediseñado considerando las zonas operativas principales respectivas a cada unidad de análisis, se calculó la diferencia entre el modelo original y el rediseñado y su equivalente en porcentaje, se consideró como “Discomfort Mensual Promedio”.

<sup>2</sup> El cálculo fue realizado a partir de datos de consumo energético mensuales del año 2004, proporcionados por el Servicio Técnico del Banco del Chaco y la Dirección de Arquitectura del Poder Judicial, y su equivalente en costo por kWh según un valor de referencia considerado como promedio sin impuestos, sólo a los fines de obtener una estimación aproximada de la diferencia de costos de consumo energético resultante del rediseño de los edificios.

cálculos estimativos realizados sobre datos correspondientes al año 2004, partiendo de la hipótesis que dichos consumos energéticos se mantuvieron constantes en volumen.

|                                 | % Discomfort Total Mensual<br>Banco del Chaco | % Discomfort<br>Total Mensual<br>Poder Judicial Ctes. |
|---------------------------------|---|---|
| ORIGINAL                        | 100   | 73,08   |
| REDISEÑO (P3)                   | 79,5  | 55,75   |
| DIFERENCIA                      | 20,5  | 17,33   |
| % Reducción Mensual<br>Promedio | <b>20,50</b>                                  | <b>23,71</b>  |

Tabla 1. Comparación de porcentajes de Reducción del Discomfort Mensual Promedio para el Banco del Chaco y el Poder Judicial de Corrientes. Fuente: Elaboración propia a partir de valores simulados (2009)

Este ahorro promedio de un 20% anual, respecto al consumo de referencia, tiene un gran significado desde el punto de vista económico, ambiental y ecológico, considerándolo interesante y adecuado, pues el Convenio Internacional de Kyoto del año 2000 exige a los países firmantes (Argentina incluida) que se debe implementar un ahorro de consumo energético de un 10% anual con base al consumo del año 1990, el cual fue sustancialmente menor en toda Argentina en general y en Corrientes en particular, por lo que extrapolando el valor de ahorro obtenido a los valores de referencia del año 1990, implica una reducción del consumo energético que podría alcanzar a casi un **35% anual**.

## CONCLUSIONES

La aplicación de la herramienta informática específica ECOTECT vs. 5.20, permitió trabajar con múltiples variables y con situaciones reales, cuyo resultado taxativo fue corroborar que es posible mejorar las condiciones higrotérmica-energéticas de la edificación arquitectónica del NEA, a través de la adecuación bioclimática de la edificación a las características climáticas regionales. Si se agrega el potencial de ahorro que se obtendría aprovechando más la iluminación natural, seguramente el porcentaje de ahorro de energía eléctrica sería aún más importante, especialmente teniendo en cuenta lo que este porcentaje significa en términos de reducción de emisiones contaminantes al ambiente. La instrumentación de estas medidas en futuras inversiones edilicias, no supondría mayores costos, sino más bien un **mayor porcentaje de tiempo dedicado a la fase de diseño y proyecto, y la plena vigencia de una normativa técnica de observancia obligatoria, tanto para el sector público como para el privado**. Es imprescindible además, la concientización a los usuarios de los edificios, que desempeñan un importante papel en la estrategia de operación de los mismos para el control climático y el consecuente *Uso Racional de la Energía*.

Por lo expuesto, se considera que la herramienta informática ECOTECT vs. 5.20, es altamente recomendable como “apropiada” para profesionales de la Arquitectura preocupados por la *Sostenibilidad Ambiental*, lo que conlleva la posibilidad, a mediano plazo, de brindar asesoramiento a diferentes organismos e instituciones públicas y privadas del campo de la construcción y el diseño arquitectónico. En este sentido, los resultados de esta investigación, serán transferidos como aporte científico a la *Dirección de Arquitectura del Poder Judicial de Corrientes* y al *Servicio Técnico del Banco del Chaco*, cuyos responsables técnicos han brindado constantemente y voluntariamente una excelente colaboración para que este trabajo se concrete con resultados reales y tangibles.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Boutet, M. L. (2009). Director: Jacobo, G. J. – Co-director: Busso, A. J. “*Vidrio, Energía Solar y Arquitectura. Verificación de las condiciones higrotérmica-energéticas en la edificación arquitectónica del N.E.A., mediante la aplicación de programas informáticos de simulación dinámica: “TRNSYS” Y “ECOTECT”*”. Informe Final de Investigación - Postgrado Iniciación (2007 - 2009). - Secretaría General de Ciencia y Técnica – UNNE.
- Boutet, M. L. & Jacobo, G. J. (2006) *El Vidrio en la Edificación Arquitectónica. Casos de Estudio en la Región Nordeste de Argentina.* - ISBN 10: 987-05-1826-5 - ISBN 13: 978-987-05-1826-6, Ediciones Moglia SRL, Corrientes.
- De Dicco, R. A. (2004) *Argentina entre la “crisis energética” de 2004 y el colapso energético de 2010*. IDICSO, Instituto de Investigación en Ciencias Sociales, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad del Salvador. Buenos Aires.
- Jacobo, G. J.– Coordinación general: Vedoya, E. D. (2001), “*El Confort en los Espacios Arquitectónicos de la Región Nordeste de Argentina*”, *Instituto de Investigaciones Tecnológicas para el Diseño del Hábitat Humano, FAU – UNNE, ISBN N° 978 – 43 – 4155 – 6, Moglia S.R.L., Corrientes, Argentina.*
- Marsh A. J. (2003). ECOTECT Tutorials. Square One research PTY LTD.
- Solar Energy Laboratory (2004).TRNSYS(Transient Systems Simulation) User’s Manual, University of Wisconsin, Madison.

**ABSTRACT:** This work presents the results of the simulation of hygrothermal - energetic behavior of two singular buildings located in the cities of Resistencia and Corrientes, by means of the program ECOTECT Vs.5.20. They have, in their actual originally existing situation of design and construction, low levels of hygrothermal habitability with high rates of monthly discomfort for permanent and eventual users throughout the annual period, thus registering a high consumption of electrical energy for environmental conditioning. From proposed technological solutions in the constructive envelope, it was found that it is possible a substantial reduction in electricity consumption for air conditioning in building architecture of the NEA Region, optimizing hygrothermal comfort levels and consequently, achieving a better life quality in the interior spaces.

**Keywords:** Solar energy, Dynamic simulation, Thermal behavior