

EVALUACIÓN TÉRMICA DE ESCUELA DE EDUCACIÓN ESPECIAL EN ZONA ÁRIDA

Mario Cúnsulo¹ Alejandra Kurbán² Alberto Papparelli,³ Eduardo Montilla⁴, Andrés Ortega⁴, Verónica Ripoll⁵
Área Arquitectura Ambiental – INEAA (Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental)
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) – Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)
Santa Fe 198 Oeste 1° Piso, J5400ZAA San Juan. Email: arqamb@unsj.edu.ar. Tel (0264) 4202664

Resumen: Se presentan resultados de un Proyecto de Extensión anual (CONEX-UNSJ, 2008) cuyo objetivo es ejecutar el anteproyecto de ampliación y remodelación de la Escuela de Educación Especial de Zonda (Provincia de San Juan), aplicando principios de diseño arquitectónico bioclimático. El proyecto se orienta a colaborar con la sustentabilidad de los asentamientos humanos localizados en zona árida, identificando la oferta ambiental del territorio y aprovechando su potencial climático para la provisión de confort higrotérmico a los usuarios, colaborando con el ahorro de energía convencional. Para el acondicionamiento térmico se utilizan Muros Trombe, Invernadero Adosado y Áticos Acumuladores. Se obtuvieron diferencias de temperatura entre el exterior y los interiores acondicionados en horas de uso (9:00hs a 13:00hs), con valores máximos de $\Delta T = 16,2^{\circ}\text{C}$ y mínimos de $\Delta T = 9,1^{\circ}\text{C}$. En razón de tratarse de la ampliación y refacción de un edificio existente, este proyecto resuelve problemas espacio-funcionales, se logran resultados de acondicionamiento térmico y se forma a la comunidad escolar en los principios de educación ambiental y arquitectura sustentable.

Palabras Clave: Estrategias Bioclimáticas, Energías no Convencionales, Ahorro Energético.

INTRODUCCIÓN

El proyecto se sustenta en la transferencia directa de conocimientos científicos desde la Universidad al medio, a través de la aplicación concreta de nuevos conocimientos generados en el ámbito académico de la investigación científica y tecnológica, respecto al diseño arquitectónico bioclimático.

La Escuela de Educación Especial de Zonda, dependiente del Ministerio de Educación de la Provincia de San Juan, está ubicada en la Villa cabecera del departamento Zonda, ubicada a una Latitud de $31^{\circ}32'00''$ Sur, a 777msnm, a 39,0Km hacia el Oeste de la capital provincial. Si bien el departamento es de característica rural, con predominio de uso agrícola del suelo, la villa cabecera presenta características urbanas por la ocupación edilicia, la provisión de servicios y su infraestructura. (Figura 1).

El edificio que actualmente ocupa la Escuela, no fue originalmente diseñado con ese propósito (su destino era un Taller Laboral y Consultorios con $\cong 225,0\text{m}^2$), por lo cual y no obstante una ampliación posterior (2 aulas, un sanitario individual y galería con $\cong 98,0\text{m}^2$), nunca dio respuesta a las necesidades funcionales, espaciales ni higrotérmicas requeridas. Por ello, el trabajo está orientado a satisfacer dichas necesidades y procura objetivos básicos de sustentabilidad ambiental: mejorar la calidad de vida de la población escolar y contribuir a evitar el agotamiento de los combustibles fósiles.

La Escuela tiene una matrícula de 60 alumnos, población escolar caracterizada por *deprivación*; atiende a chicos con graves disfunciones de inserción social, cultural y laboral. Los alumnos son derivados de otros establecimientos, por razones de falta de aprendizaje motivada por la problemática citada, por lo que el propósito principal del Establecimiento es reinsertarlos en el sistema educativo formal, una vez modificadas, reorientadas y verificadas sus conductas socio-culturales. Además de su labor educativa, la Institución proporciona a los alumnos desayuno y almuerzo, de lunes a viernes, de 9:00hs a 13:00hs.

La necesidad de sustitución energética por fuentes no convencionales tiene dos componentes fuertemente relacionados, el económico y el social, ya que el costo energético del acondicionamiento con gas natural, gas licuado o electricidad, sólo puede ser afrontado por un escaso sector de la población, soportando la mayoría el costo social del discomfort. Al respecto, el Dpto. de Zonda tiene uno de los mayores porcentajes de Necesidades Básicas Insatisfechas de la provincia ya que según datos del último Censo Nacional de Población y Vivienda año 2001, de las 3.958 personas del departamento, el 25,4% tiene Necesidades Básicas Insatisfechas, es decir un 46% por sobre la media provincial de 17,45%, (INDEC, 2001).

¹ Prof. de E.M. UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

² Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

³ Director Organizador INEAA; Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

⁴ Prof. JTP FAUD-UNSJ

⁵ Becaria CONICET Tipo I



Figura 1: Localización del Dpto. Zonda respecto al Gran San Juan y del terreno donde se proyectó la ampliación y refacción de la Escuela

En ese contexto, al procurar una mejora de las condiciones de confort en el hábitat educativo al que concurre un alumnado altamente carenciado desde el punto de vista socio-económico, la Universidad colaborará en generalizar mejores condiciones de vida para una mayoría, una de las más vulnerables de la población provincial.

Las pautas generales del diseño bioclimático contemplaron las siguientes premisas:

- **minimizar** el uso de energía convencional maximizando la captación de energía solar para el acondicionamiento térmico,
- **maximizar** las condiciones de confort higrotérmico.
- **usar tecnología constructiva tradicional** igual a la utilizada en el edificio existente.
- **minimizar** el costo y la dificultad de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas pasivos

METODOLOGÍA

El proceso metodológico contempló la ejecución de estudios preliminares de carácter ambiental, en base a una metodología ecosistémica (Papparelli A. *et al*, 2003), que conformó una base de datos con información sustancial para el proyecto, cuyo procesamiento permitió detectar condicionantes arquitectónicos de diseño en relación a los diez Medios que contempla dicha metodología: Componentes Estructurales, Procesos Estructurales, Social, Cultural, Político, Económico, Tecnológico, Asentamientos Humanos, Bienes Patrimoniales y Contaminación Ambiental.

En relación al Medio Procesos Estructurales y con una estadística climática quinquenal (1993–2003) de temperatura del aire y humedad relativa del Dpto. Zonda (INTA, 2008), se calcularon las Estrategias de Diseño Bioclimático (Watson D., 1983). Los Condicionantes urbano-arquitectónicos, las Estrategias de Diseño Bioclimático y el Programa de Necesidades generaron las Pautas de Diseño General y las de Diseño Bioclimático, en tres escalas: Urbanística, Arquitectónica y Tecnológica. Ejecutado el Anteproyecto Arquitectónico, se ejecutó la modelización del comportamiento térmico del edificio utilizando el programa SIMEDIF (Flores Larsen, S., *et al*, 2006), procediéndose luego a la elaboración de la Documentación Técnica respectiva.

Estrategias de Diseño Bioclimático: Se procesaron datos climáticos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa (INTA, 2008) información proveniente de diferimientos productivos ubicados en las cercanías del emplazamiento del edificio a intervenir. Con los datos horarios de todos los días de un período de cinco años (1999-2003) se calculó el promedio horario para cada mes. Con los valores promedios calculados se elaboró la Carta Bioclimática Edilicia (Watson, D., 1983) para cada mes del año. A modo de ejemplo en la **Figura 2** se presentan las correspondientes a los meses de Enero y Julio, meses que condicionan en mayor medida los sistemas de acondicionamiento térmico de los edificios, por ser los de característica higrotérmicas extremas en esa localidad. En la **Tabla 1** se presentan los datos de temperatura y humedad relativa respectivas.

HORA	ENERO		JULIO	
	Temp. Aire (°C)	Hum. Relativa (%)	Temp. Aire (°C)	Hum. Relativa (%)
00:00	26.7	39.0	8.5	52.9
01:00	26.0	40.2	8.0	54.4
02:00	25.3	41.9	7.5	55.6
03:00	24.7	42.1	6.9	57.4
04:00	24.1	44.2	6.4	58.6
05:00	23.5	45.5	5.8	61.1
06:00	22.8	47.5	5.3	62.3
07:00	22.2	49.4	4.8	63.5
08:00	21.8	50.8	4.6	64.3
09:00	23.1	47.1	4.3	65.2
10:00	24.4	43.9	5.6	60.4
11:00	25.8	40.6	8.0	54.4

HORA	ENERO		JULIO	
	Temp. Aire (°C)	Hum. Relativa (%)	Temp. Aire (°C)	Hum. Relativa (%)
12:00	27.3	38.0	10.1	48.1
13:00	28.7	35.4	12.0	43.1
14:00	29.7	33.1	13.3	40.1
15:00	30.5	31.2	14.3	38.1
16:00	31.0	29.8	14.9	37.1
17:00	31.3	28.7	15.1	37.2
18:00	31.2	28.5	14.6	39.1
19:00	30.7	28.4	13.2	43.3
20:00	30.0	29.4	11.4	46.8
21:00	29.1	30.9	10.2	48.9
22:00	28.4	33.5	9.6	49.7
23:00	27.5	35.6	9.0	51.4

Tabla 1: Temperatura y Humedad Relativa promedio horaria Mensual Enero-Julio - Dpto. Zonda (1999-2003)

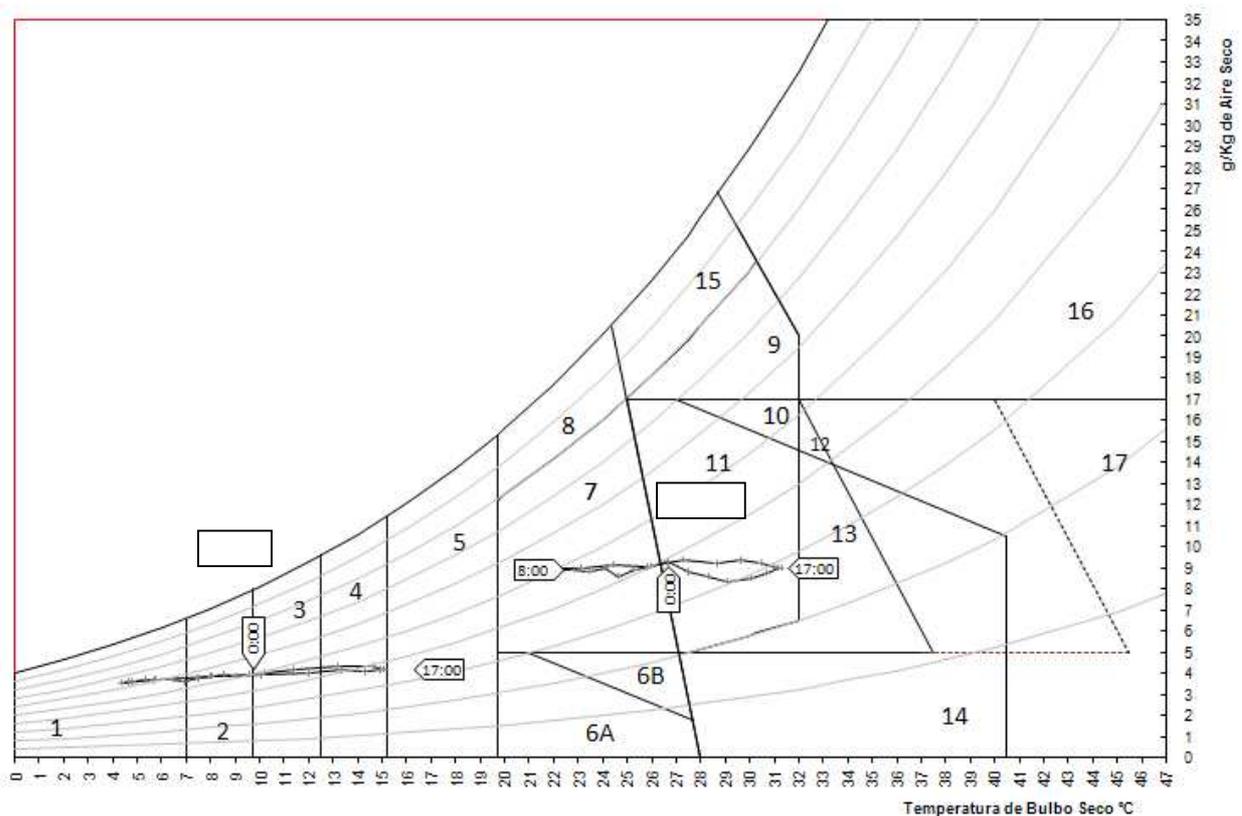


Figura 2: Carta Bioclimática Edilicia para el Dpto. Zonda (San Juan), para los meses de Enero y Julio del período 1999-2003.

De acuerdo con lo analizado, para el verano se obtienen condiciones de confort durante todo el día solamente con asegurar la ventilación natural adecuada durante las horas de máxima temperatura. El problema de acondicionamiento más severo se presenta en invierno, estación en la que es posible aprovechar la intensa radiación solar disponible, pero aún se requiere de calefacción activa o convencional durante algunas horas en la madrugada. Debido al régimen horario, de escolaridad matutina (9:00hs a 13:00hs), se estima que las necesidades de calefacción durante la permanencia en el edificio de alumnos y docentes se pueden satisfacer utilizando elementos de acondicionamiento solar pasivo.

Programa de Necesidades y Pautas de Diseño Bioclimático: Se analizó conjuntamente con las autoridades escolares los requerimientos áulicos mínimos: cantidad de aulas (6) y capacidad (10 alumnos por cada una), como asimismo los requerimientos especiales derivados de la modalidad propia del establecimiento educativo, donde todos los alumnos reciben desayuno y almuerzo.

El diseño definitivo previó el cambio de destino de algunas dependencias, la incorporación de tres Aulas nuevas y una Cocina de dimensiones y equipamiento adecuado a la población que atiende. Asimismo se agregó un sector de Sanitarios-Vestuarios, ya que los baños existentes no eran suficientes para las necesidades de la matrícula escolar. Estas ampliaciones totalizaron una superficie cubierta de $\cong 187,0m^2$, resultando una superficie cubierta total de $\cong 510,0m^2$.

El acondicionamiento térmico se provee utilizando muros Trombe en las 3 Aulas nuevas al frente edilicio, disponiéndose en la parte superior de los mismos, ventanas con parasoles horizontales para obtener una correcta iluminación natural extendida a todo el aula (Ver Corte B-B en **Figura 5**). Se proyecta un Invernadero Adosado a la Galería perimetral, en el patio interior que acondiciona el Comedor, las circulaciones y las Aulas del sector Suroeste a través de conductos con ventilación forzada de bajas revoluciones. Durante el verano, la ventilación del Invernadero se realiza a través de aberturas móviles ubicadas en la parte inferior y superior del mismo, y de un extractor eólico localizado en la zona más elevada. Para acondicionar los Sanitarios-Vestuarios se disponen dos Áticos Acumuladores, desde los cuales se conduce el aire caliente, mediante ventilación forzada con bajas revoluciones. Durante el verano, la ventilación de dichos Áticos se realiza por medio de la apertura de ventanas ubicadas en sus respectivos tímpanos, accionadas por medio de simplones.

La tecnología constructiva propuesta contempla el uso de paredes de ladrillo macizo, tanto en el Invernadero Adosado (espesor: 30,0cm), como en los Muros Trombe (espesor: 15,0cm), revocadas y pintadas de color negro en la cara expuesta al sol. Las carpinterías solares del Invernadero Adosado, Muros Trombe y Áticos Acumuladores se diseñan utilizando policarbonato alveolar de 10,0mm de espesor. En el Invernadero, se propone un piso acumulador con un contrapiso de hormigón alisado de 10cm de espesor, sobre un lecho acumulador de grava, de 40cm de espesor. Los Áticos Acumuladores tienen sus paramentos inclinados de hormigón armado, de 10,0cm de espesor, pintados de color negro en sus caras interiores. Estos paramentos se aíslan del lado exterior con poliestireno expandido de 5,0cm de espesor, protegido con la cubierta de techo correspondiente.

En la **Figura 3** se presenta la Planta General del edificio existente (original y con su ampliación), en la **Figura 4** el diseño propuesto y en la **Figura 5** los Cortes del Muro Trombe, Invernadero y Ático Acumulador.

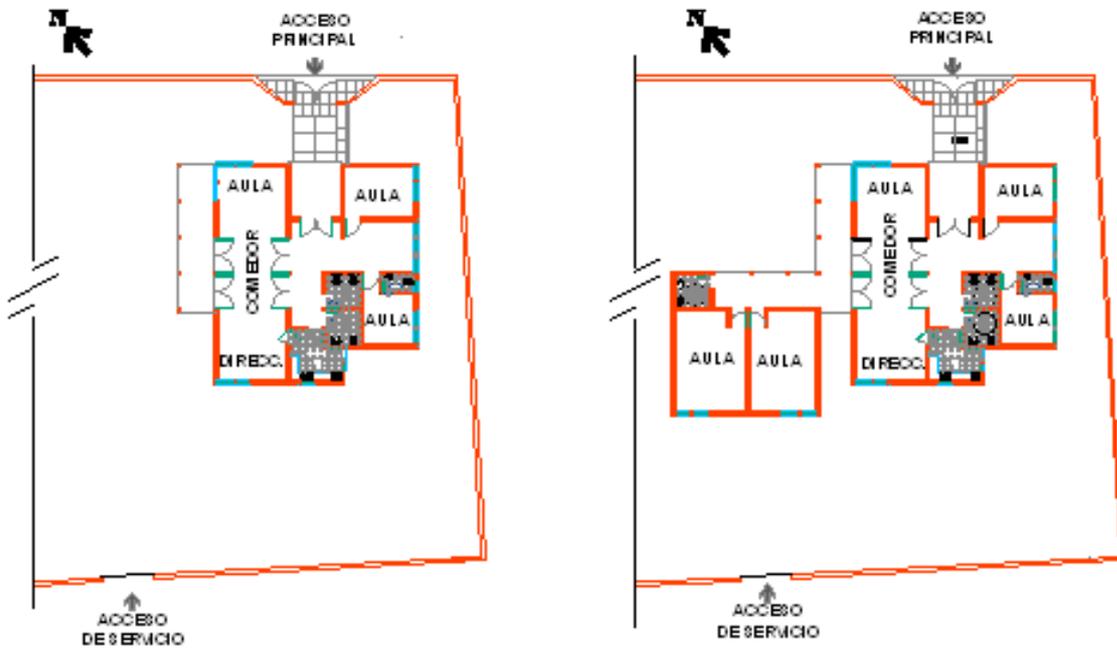
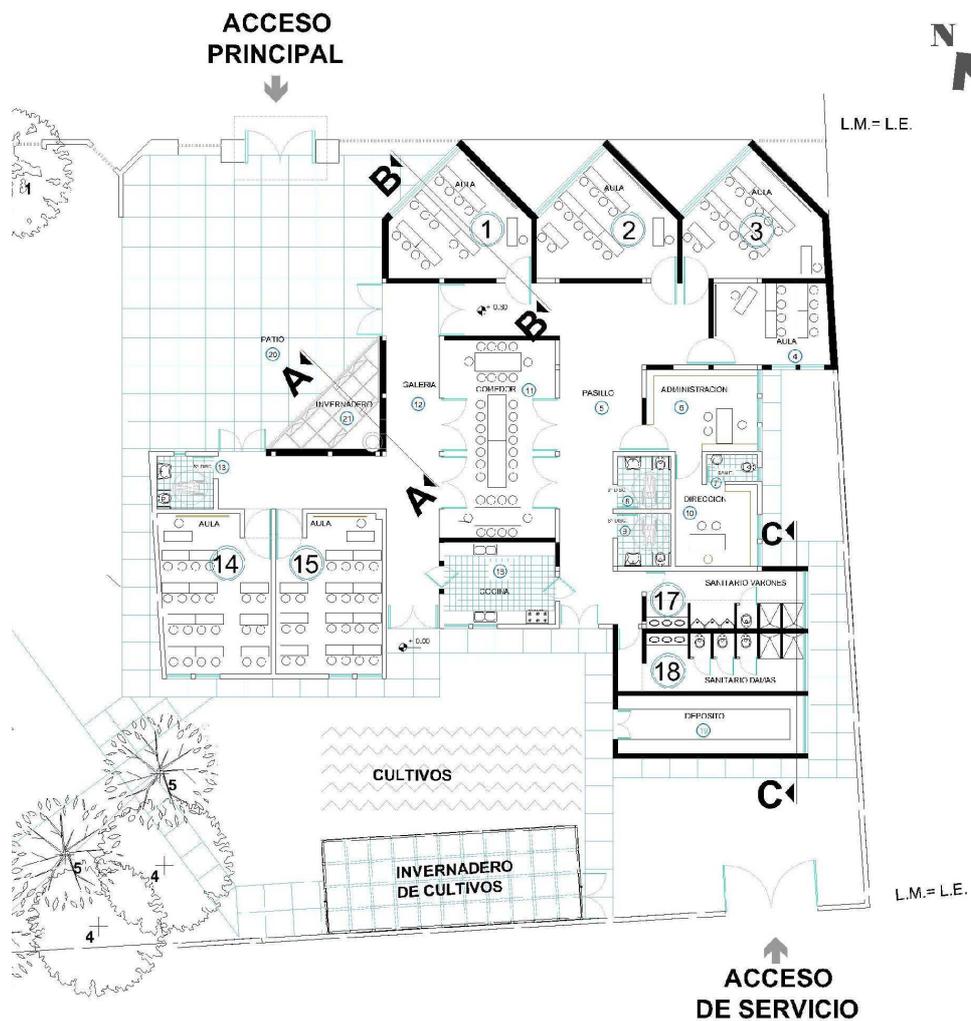


Figura 3: Planta General del edificio original (año 2005) y luego de su ampliación (año 2007)



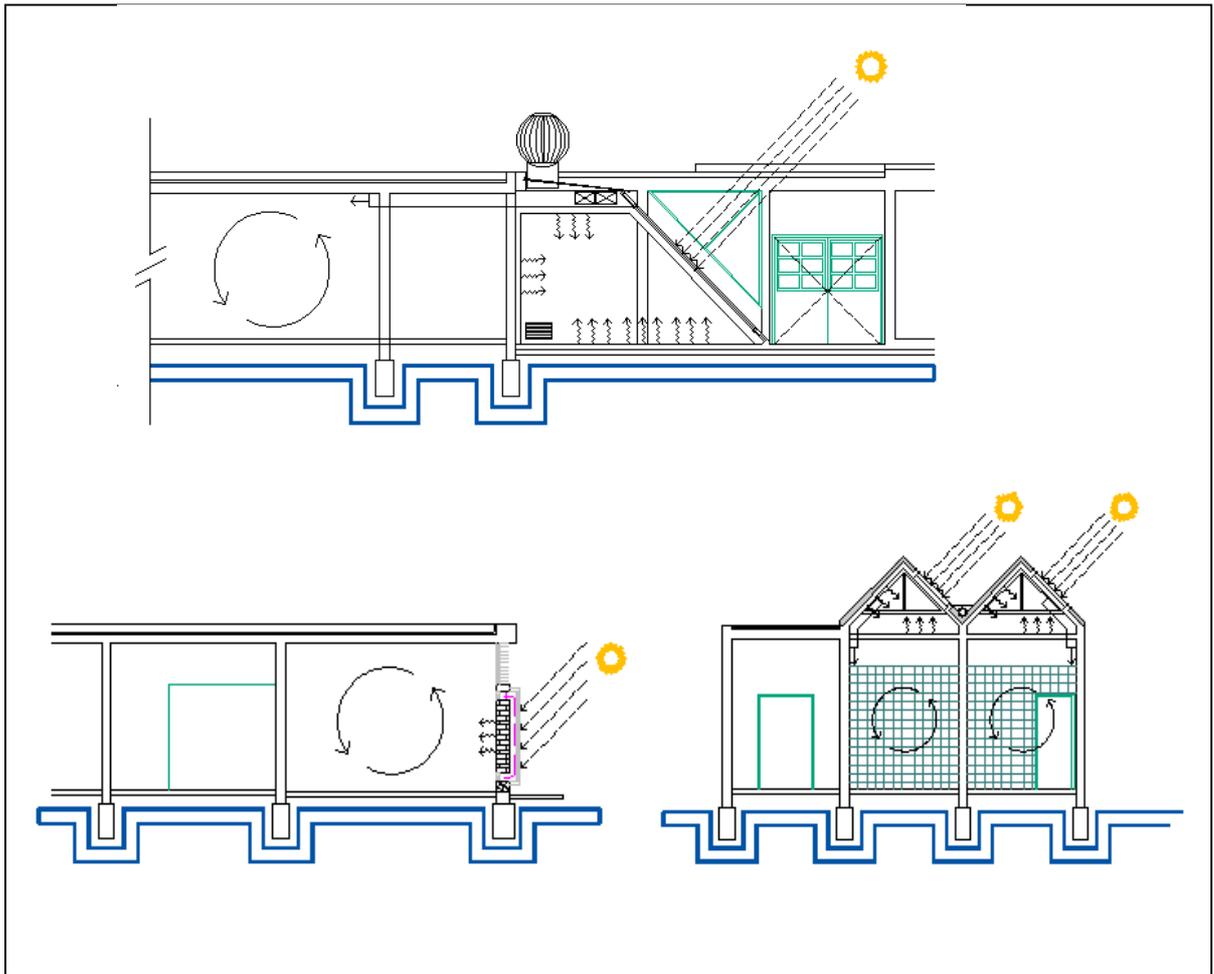


Figura 4: Planta General del edificio proyectado, con el diseño de los espacios exteriores de carácter didáctico y recreativo.

Figura 5: Cortes del edificio proyectado: Muro Trombe, Áticos Acumuladores E Invernadero Adosado.

RESULTADOS

La modelización del comportamiento térmico del edificio se realizó mediante el programa SIMEDIF (Flores Larsen, S., *et al* 2001). Los datos introducidos corresponden a una secuencia de 10 días promedio de invierno tomando el día 172 como inicial. En la **Tabla 2** se presenta el resultado de la modelización del día 10 de cálculo, con las temperaturas obtenidas en los locales acondicionados y la temperatura exterior. En la parte inferior se muestran los promedios de las 24 horas, los promedios de las horas de uso (9:00hs a 13:00hs) y las diferencias de temperatura interior - exterior entre ambos. En la **Figura 6** se presentan las modelizaciones del comportamiento térmico del día 10 para las Aulas 2 y 14; en la **Figura 7** las modelizaciones para el Comedor y Sanitarios/Vestuarios.

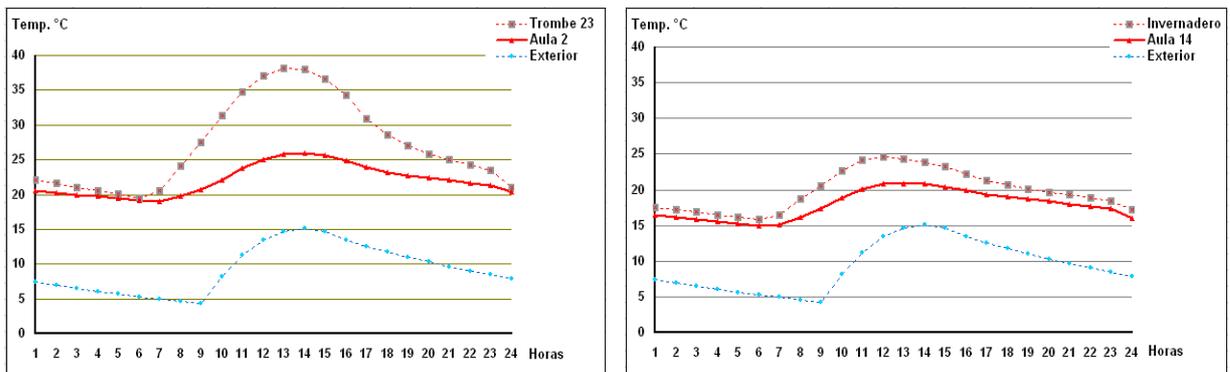


Figura 6: Modelizaciones del comportamiento térmico del día 10 para el Aula 2 y Aula 14

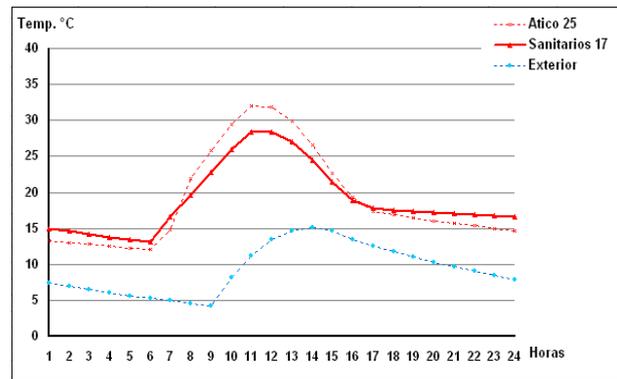
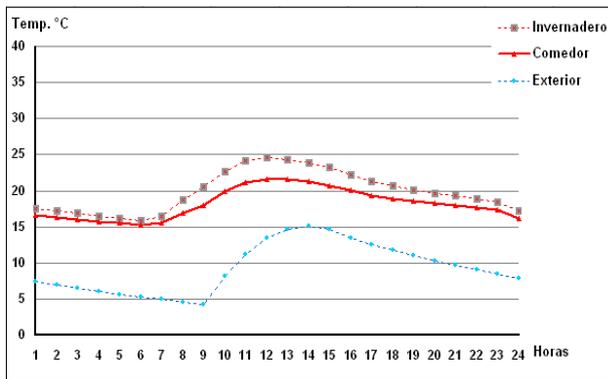


Figura 7: Modelizaciones del comportamiento térmico del día 10 para el Comedor y Sanitarios/Vestuarios.

RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN TÉRMICA DEL EDIFICIO										
DÍA 10	Hora	Aula 1 (°C)	Aula 2 (°C)	Aula 3 (°C)	Comedor (°C)	Aula 14 (°C)	Aula 15 (°C)	Sanit.17 (°C)	Sanit. 18 (°C)	Exterior (°C)
	1	19,60	20,58	19,55	16,53	16,50	16,08	15,00	15,00	7,39
	2	19,24	20,29	19,29	16,26	16,18	15,84	14,60	14,60	6,91
	3	18,87	19,99	19,02	16,01	15,87	15,60	14,20	14,20	6,47
	4	18,50	19,70	18,75	15,76	15,56	15,36	13,80	13,80	6,04
	5	18,15	19,41	18,48	15,51	15,26	15,13	13,40	13,40	5,65
	6	17,82	19,12	18,22	15,27	14,96	14,89	13,08	13,08	5,28
	7	17,71	19,04	18,17	15,52	15,08	15,05	16,60	16,60	4,93
	8	18,55	19,74	18,88	16,89	16,21	16,14	19,60	19,60	4,60
	9	19,58	20,63	19,77	17,94	17,29	17,15	22,83	22,83	4,29
	10	21,17	22,11	21,20	19,87	18,90	18,74	26,02	26,02	8,18
	11	22,92	23,82	22,76	21,06	20,14	19,85	28,37	28,37	11,21
	12	24,21	25,02	23,88	21,61	20,77	20,39	28,45	28,45	13,37
	13	25,02	25,76	24,53	21,56	20,88	20,41	26,98	26,98	14,66
	14	25,28	25,95	24,68	21,26	20,76	20,19	24,42	24,42	15,09
	15	25,02	25,63	24,33	20,75	20,43	19,77	21,42	21,42	14,66
	16	24,33	24,91	23,59	20,01	19,86	19,13	18,94	18,94	13,37
	17	23,32	23,91	22,60	19,35	19,36	18,57	17,86	17,86	12,52
	18	22,72	23,23	21,93	18,92	19,03	18,21	17,58	17,58	11,73
	19	22,28	22,74	21,47	18,56	18,71	17,90	17,38	17,38	10,99
	20	21,86	22,35	21,12	18,22	18,37	17,61	17,21	17,21	10,29
	21	21,46	22,01	20,80	17,91	18,03	17,34	17,05	17,05	9,64
	22	21,07	21,69	20,52	17,60	17,70	17,07	16,90	16,90	9,02
	23	20,69	21,39	20,24	17,31	17,36	16,81	16,74	16,74	8,44
24	19,82	20,34	19,23	16,16	16,04	15,63	16,60	16,60	7,90	
PROMEDIO 9 a 13hs		22,58	23,47	22,43	20,41	19,60	19,31	26,53	26,53	10,34
DIFERENCIA T°C		12,24	13,13	12,09	10,07	9,25	8,97	16,19	16,19	0,00
PROMEDIO 24hs		20,92	21,77	21,07	18,33	18,02	17,60	19,54	19,54	9,28
DIFERENCIA T°C		11,65	12,49	11,79	9,06	8,74	8,32	10,27	10,27	0,00

Tabla 2: Modelización día 10. Promedios y diferencias de temperatura exterior-interior: 24 horas y período de uso (9:00hs a 13:00hs)

Las diferencias diarias promedio de temperatura entre el exterior (9,28°C) y el interior edificio conforme los distintos sistemas solares utilizados, resultaron:

- Muro Trombe.....**: (Aula 1- Aula 2-Aula 3): Dif. Promedio Interior - Exterior: $\Delta T^{\circ}C = 11,98^{\circ}C$; Tem. Interior: 21,26°C
- Invernadero.....**: (Comedor).....: Dif. Promedio Interior - Exterior: $\Delta T^{\circ}C = 9,06^{\circ}C$; Tem. Interior: 18,34°C
- Invernadero.....**: (Aula 14 – Aula 15..... : Dif. Promedio Interior - Exterior: $\Delta T^{\circ}C = 8,53^{\circ}C$ Tem. Interior: 17,81°C
- Ático Acumulador**: (Sanitarios-Vestuarios) : Dif. Promedio Interior - Exterior: $\Delta T^{\circ}C = 10,27^{\circ}C$ Tem. Interior: 19,55°C

Durante las horas de uso de la Escuela (9:00hs a 13:00hs), las diferencias promedio de temperatura entre el exterior (10,34°C) y el interior edilicio conforme los distintos sistemas solares utilizados, resultaron:

Muro Trombe..... : (Aula 1- Aula 2-Aula 3).... : Dif. Promedio Interior - Exterior: $\Delta T^{\circ}\text{C} = 12,49^{\circ}\text{C}$; Tem. Interior: $22,83^{\circ}\text{C}$
Invernadero..... : (Comedor)..... : Dif. Promedio Interior - Exterior: $\Delta T^{\circ}\text{C} = 10,07^{\circ}\text{C}$; Tem. Interior: $20,41^{\circ}\text{C}$
Invernadero..... : (Aula 14 – Aula 15)..... : Dif. Promedio Interior - Exterior: $\Delta T^{\circ}\text{C} = 9,11^{\circ}\text{C}$; Tem. Interior: $19,45^{\circ}\text{C}$
Ático Acumulador: (Sanitarios-Vestuarios) : Dif. Promedio Interior - Exterior: $\Delta T^{\circ}\text{C} = 16,19^{\circ}\text{C}$; Tem. Interior: $26,53^{\circ}\text{C}$

En la **Figura 8** se muestra una perspectiva aérea de la Escuela, desde el Nor-noreste.



Figura 8: Perspectiva aérea de la Escuela

CONCLUSIONES

El Anteproyecto Arquitectónico de ampliación y refacción del edificio escolar con diseño bioclimático, tuvo como pautas para el logro de condiciones de confort el minimizar pérdidas de calor a través de la envolvente, usando sistemas constructivos de alta resistencia al intercambio de calor, alta capacidad de almacenamiento y elevados coeficientes de absorción de la radiación solar. Al mismo tiempo se minimizó el intercambio de calor a través de superficies vidriadas, a partir del adecuado diseño y orientación de las carpinterías y sus protecciones. Se incorporaron sistemas solares pasivos tales como Muros Trombe, Invernadero y Áticos Acumuladores; los dos últimos se complementaron con conducción forzada de aire caliente a los locales a acondicionar.

Se diseña un edificio que reúne buenas condiciones de confort térmico, aprovechando el recurso solar ampliamente disponible en la zona; solo se requiere calefacción convencional en la Dirección y el Aula 4, locales a los que no fue posible acondicionar, por no tener orientaciones adecuadas. Se realiza una transferencia directa del aprovechamiento de energías renovables para lograr confort térmico, sin costo de servicio y muy bajo gasto en mantenimiento. El trabajo constituye además un aporte a la difusión de los beneficios ambientales del uso racional de la energía destinado a los profesionales y a los poderes de gestión, aprovechando el efecto multiplicador que la comunidad educativa genera en la población del Departamento y de la Provincia.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen a la Dra. Silvana Flores Larsen su asistencia en el manejo de SIMEDIF bajo WINDOWS.

REFERENCIAS

Flores Larsen S. y Lesino G. (2001). Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. Energías Renovables y Medio Ambiente 9, pp.15-24, Salta.

INDEC (2001) Censo Nacional de Población de la R. Argentina

Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., (2003), Diagnóstico Ambiental de Ecosistemas Humanos, Ed. Nobuko, Bs. As.

Watson, D., FAIA and Labs K. (1983) Climatic Design. Mc Graw Hill Book C. New York.

ABSTRACT: The work shows the results of an annual Extension Project (CONEX-UNSJ, 2008) whose objective was making the pre-project for the expansion and remodelling of the School for Special Education of Zonda (county of San Juan) by applying principles of bioclimatic architectural design. The project aims at contributing to the sustainability of human settlements located in arid areas by identifying the environmental offer of the territory and taking advantage of its climatic potential in order to provide hydrothermal comfort for its users and to contribute to conventional energy saving. In order to obtain thermal improvement Trombe Walls, an Attached Greenhouse and Accumulator Lofts were used. As a result the differences of temperature obtained between the exterior and the improved interiors (between 9:00 and 13:00 hrs, when used) ranged between a maximum of $\Delta T = 16,2^{\circ} \text{C}$ and a minimum of $\Delta T = 9,1^{\circ} \text{C}$. As the project was about the expansion and remodelling of an existing building, it had to solve spatial and functional problems, to provide thermal improvement and to form the scholar community following the principles of environmental education and self sustainable architecture.

Keywords: Bioclimatic Strategies, Non Conventional Energies, Energy Savings