

**Escuela Bioclimática - Sustentable**  
**SECUNDARIA Nº 39 - Villa de Antofagasta de la Sierra - CATAMARCA**  
*Erika Walter<sup>1</sup>, Matías Agüero<sup>2</sup>, María Gabriela Watkins<sup>3</sup> Gabriela Mansilla<sup>4</sup>*  
*Cecilia A. Brizuela Barros<sup>5</sup>*

## Resumen

En este trabajo se presenta el proyecto y la construcción de una escuela realizada en la Villa de Antofagasta de la Sierra (latitud:  $-26^{\circ}06'$ , longitud:  $67^{\circ}41'$  y altura sobre el nivel del mar: 3440mts), localidad ubicada en la provincia de Catamarca, de clima árido andino puneño, con grandes amplitudes térmicas y altos niveles de irradiación solar. La imagen de la Villa, en su conjunto, preserva los valores culturales y patrimoniales de los lugareños. El objetivo de éste proyecto es utilizar estrategias de diseño bioclimático, técnicas constructivas apropiadas y generación de energía solar-térmica, para contribuir a la sustentabilidad local, respondiendo a una visión integral y ambientalista. Se logra construir una escuela que contempla la tradición cultural, la utilización de los recursos locales, el máximo aprovechamiento del clima y la adecuación bioclimática. De ésta manera, además se minimiza el impacto ambiental, se reducen costos de ejecución y se revalorizan técnicas tradicionales de construcción.

**Palabras clave:** eficiencia energética; arquitectura bioclimática; regionalismo.

**Bioclimatic and Sustainable School**  
**SECONDARY Nº 39 - Villa Antofagasta de la Sierra – CATAMARCA**

## Abstract

It is present in this work the project and build of school in the town of Antofagasta de la Sierra ( $-26^{\circ}06'$ , longitude:  $67^{\circ}41'$  and height above sea level 3440mts latitude) located in the province of Catamarca, Puna Andean arid climate, with large temperature ranges and high levels of sunlight. The image of the village preserve in a whole, cultural and heritage values of his people. The objective of this project is to use strategies of bioclimatic design, appropriate construction techniques and thermal power generation, to contribute to local sustainability, responding to a comprehensive environmental vision. It is manages to build a school that includes the cultural tradition, the use of local resources, the optimization of climate and bioclimatic suitability. Thus also minimizing the environmental impact, reduce cost of construction and revalue traditional techniques.

**Keywords:** energy efficiency; bioclimatic architecture; regionalism.

---

<sup>1,2,3,4,5</sup> Dirección de Proyectos de Infraestructura Escolar – Ministerio de Obras Públicas – Catamarca, Argentina.

## 1-Introducción

Es importante considerar que las escuelas en la puna, no sólo son un edificio educativo o de instrucción, sino que, son también un punto de reunión popular que debe contemplar actividades que involucren a toda la comunidad.

Una concepción Bioclimática Arquitectónica, actualiza soluciones que están presentes en las edificaciones rurales tradicionales, pero con el uso de nuevas herramientas y tecnologías, que permiten pasar de edificaciones que surgen intuitivamente y van evolucionando en el tiempo, a diseños donde se puede saber antes de la construcción su comportamiento frente a las condiciones ambientales. (Ministerio de Educación de Perú, 2008)

El proyecto arquitectónico de ampliación y refacción del edificio de la Escuela de Educación Especial de Zonda, Provincia de San Juan, de diseño bioclimático, propone 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. 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. Éste 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. (Cúnsulo et al, 2008)

La concepción bioclimática es la que aconseja utilizar por medio de la arquitectura los elementos favorables del clima natural con objeto de satisfacer las exigencias de confort térmico de las personas, en su hábitat (Collet y Maristany, 1995).

Esteves (2003) considera que la arquitectura y el urbanismo sustentables son un desafío. Los proyectistas de edificios son personas que tienen una responsabilidad creciente sobre el impacto sobre el medio ambiente. El desafío es grande, multidisciplinario y transdisciplinario es decir, todos estamos insertos en él, los Profesionales proyectistas deben generar proyectos más amigables con el medio ambiente.

### Localización y contexto:

El Proyecto se emplaza en la Villa de Antofagasta de la Sierra, situada en la Puna catamarqueña, (latitud: -26°06', longitud: 67°41') a 3440 m.s.n.m. y a 582 km. de San Fernando del Valle de Catamarca.

La Escuela Secundaria N°39, no poseía edificio propio y funcionaba en turno vespertino-nocturno en el edificio de la Escuela Primaria N°494, situación totalmente inadecuada para una zona climática de condiciones tan adversas. También existía la necesidad de contar con albergue para docentes y alumnos.

Es menester aclarar algunas condicionantes del sitio: no hay redes de gas natural, sólo gas envasado en garrafas, la energía eléctrica la proporciona una usina, de 6 a 11 de la noche y hay leña en la zona.

El terreno destinado a la construcción de la escuela, se encuentra al pie de un importante marco natural y paisajístico (Farallón), hito significativo con el que cuenta el lugar. (Figura 1).

**Figura 1** -Vista del terreno destinado a la construcción de la escuela.



Fuente: fotografía tomada por el autor

**Clima:** La localidad donde se insertar el edificio escolar pertenece a Zona Bioambiental Región V (Frío). El clima es Árido andino puneño (de alta montaña), riguroso, frío y seco, se caracteriza por su aridez, muy inhóspito, con escasas precipitaciones, pues la defensa de los cordones montañosos impide el paso de los vientos húmedos. Se producen nevadas ocasionales, que no duran por la incidencia de la radiación solar. Las condiciones climáticas son extraordinariamente severas.

Por la falta de datos precisos en el sitio de emplazamiento del proyecto, se extrajeron los proporcionados por la Minera del Altiplano, que cuenta con una estación meteorológica, en el Salar del Hombre Muerto, dentro de los límites de nuestra provincia, la cual presenta características geográficas y climatológicas muy similares. (Tabla 1).

Los Grados-día permiten determinar la rigurosidad del clima del lugar, por ejemplo a San Fernando del Valle de Catamarca le corresponden 416 (base 18°C) y a La Villa 3996,4 (base 18°C).

**Tabla 1**-Variables climáticas- Estación meteorológica Salar del Hombre Muerto - Minera del Altiplano (Mda) – (Datos históricos Período 1992-2001)

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Horas de sol	13,26	12,51	12,9	11,22	10,43	10,23	10,32	11,6	11,51	12,37	13,17	13,36	11,90
Precipitación media (mm)	31,6	20	7,8	1,1	0,7	1	1,2	0,8	1,6	0	0,4	7,1	77,4
Temperatura media (°C)	11,6	10,9	9	5,5	1,6	-0,77	-1,6	0,33	2,7	5,4	7,4	9,6	5,2
Temperatura máxima media (°C)	20,9	20,4	18,7	15,9	11,6	7,8	7	9,1	11,2	14	16,2	17,8	14,2
Temperatura mínima media (°C)	2,6	1,3	-1	-4,3	-8,2	-6,4	-9,5	-8	-5,9	-4	-2,2	-0,3	-3,8
Velocidad media viento (Km/h)	8,3	8,8	8,2	9,5	10,1	10,6	11,2	11,1	12,9	12,5	10,7	9,5	10,3
HR Med. (%)	37,7	32,8	29	20,2	21,2	21	22,3	20,1	20,4	23,5	23,5	26,4	24,84
Grado día	130,2	142,8	223,2	315	443,3	495	533,2	477,4	399	341	270	226,3	3996,4

## 2-Objetivo

Diseñar y construir un edificio educativo respetando el hábitat tanto físico como humano y aprovechando los aspectos positivos del clima.

Las pautas generales del diseño contemplaron las siguientes premisas:

- Maximizar el uso de la energía solar foto-térmica y de los recursos de diseño para recuperar las condiciones de confort higrotérmico en la estación más rigurosa.
- Utilizar tecnología constructiva donde esté presente la tierra como material, pero estimulando nuevos aprendizajes de una forma innovadora como lo es el Bloque de Tierra Comprimida BTC.
- Acompañar la morfología del paisaje en un juego de figura y fondo, respetando y adaptándose a la imagen arquitectónica de la Villa.

- Reducir el costo de la construcción evitando gastos excesivos en traslado de materiales, mantenimiento y acondicionamiento térmico.

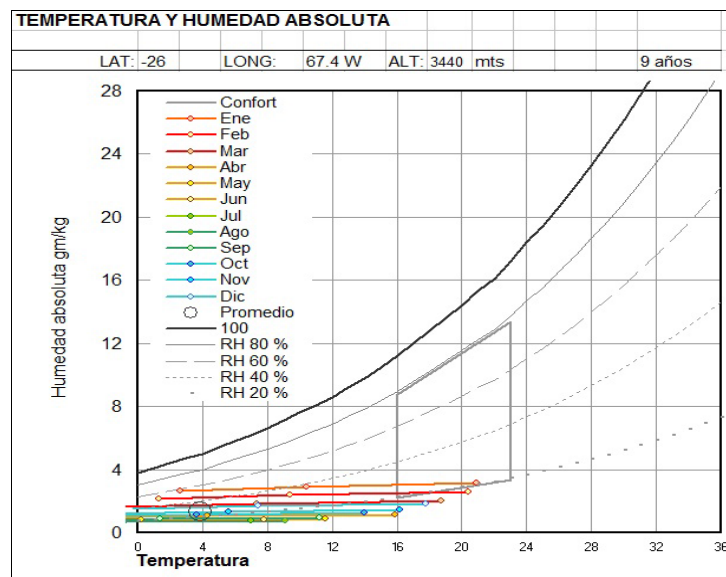
### 3-Metodología

El proceso metodológico contempló dos fases fundamentales pero íntimamente relacionadas, por un lado el procesamiento de los datos climáticos obtenidos del lugar y por otro de las técnicas constructivas apropiadas que se aplicarían.

Ya que una escuela es de uso intermitente, es muy útil el uso de bioclimogramas pues se evalúa su comportamiento térmico en los meses y horarios que efectivamente hay actividad escolar, además de orientar al proyectista, en cuanto a los recursos de diseño a aplicar.

Givoni (1969) propone un climograma realizado sobre un diagrama psicrométrico donde traza una zona de confort higrotérmico para invierno y verano. Luego propone otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación y/o aplicación de estrategias de diseño pasivo

Figura 2-Diagrama Bioclimático de Givoni



Fuente: Programa e-clim – Análisis de clima y confort CIHE-FADA-UBA

Se establece una zona de confort, entre los 16 a 23 °C, debido a las bajas temperaturas reinantes todo el año. En verano, durante el período de clases, en enero y febrero la mayor parte del día nos encontramos cerca de la zona de confort, especialmente en días soleados y calmos. Las noches son frías. En horas extremas tendremos necesidad de protección y/o regulación del asoleamiento. En invierno, estamos siempre fuera de las condiciones de confort por lo que se hace imprescindible captar la máxima radiación solar posible durante el día y protegernos en un ambiente adecuado (aislado) en cuanto se ponga el sol. Aún en primavera se mantiene las condiciones de frío invernales. No es preciso bajar la temperatura por ventilación ni refrigeración evaporativa en ningún caso. (Figura 2).

Es recomendable entonces, conocer los niveles de irradiancia, ya que la altitud, latitud y disposición geográfica del sitio de emplazamiento, posibilita la incidencia de una importante radiación solar durante todo el año. Para ello se ha utilizado el programa GEOSOL V.2.0 para Windows (Hernández,

2003) que permite, a través de sus cálculos, estimar valores de irradiación solar y representar la trayectoria del sol en cartas solares. (Tabla 2).

**Tabla 2-** Aporte Irradiación solar horaria en las envolventes.

MES MAYO	Azimut en grados	Pendiente en grados	Radiación (MJ/m <sup>2</sup> )
Pared Norte	180	90	25.57
Pared O/E	90/270	90	13.26
Pared Sur	0	90	3.53 sólo indirecta
Cubierta	-	0	19.22
<b>MES ENERO</b>	180	90	6.83
Pared Norte			
Pared O/E	90/270	90	20.75
Pared Sur	0	90	11.77
Cubierta	-	0	35.95
<b>MES MARZO</b>	180	90	13.23
Pared Norte			
Pared O/E	90/270	90	18.44
Pared Sur	0	90	5.22
Cubierta	-	0	29

Estrategias de diseño: Las estrategias propuestas para recuperar las condiciones de confort, serán para invierno, es decir vinculadas a la captación, acumulación, distribución y conservación de calor en los meses fríos.

Se plantearon también como estrategias de diseño:

- Edificio compacto, ya que las pérdidas de calor están directamente relacionadas con la superficie de su envolvente.
- Distribución de espacios acorde a orientaciones y necesidades de acondicionamiento de cada uno.
- Privilegiar la orientación del albergue.
- El uso de masa térmica para captar, acumular y disipar energía en el momento requerido.
- Una envolvente de baja permeabilidad térmica.
- Protección de la entrada, doble puerta en ingreso escuela y albergue.

Al comparar las técnicas de construcción utilizadas en la antigüedad y las empleadas hoy, se constata que ellas han evolucionado, pasando por cambios y adaptaciones propias del conocimiento adquirido a través de investigaciones, prácticas y del medio socio-económico y cultural donde se ejecutan. Así es que la fuerza del trabajo del hombre va siendo reemplazada por equipos y herramientas, a la vez que se introducen otros materiales regionales y algunos materiales sintéticos. (Neves et al, 2011)

Como tecnología constructiva propusimos el uso de mamposterías de BTC (bloques de tierra comprimida). En estudios realizados en el Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATIC) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo-UNT, se concluyó que “es posible usar componentes constructivos de tierra cruda para la producción de muros con sistemas de mampostería en zonas de riesgo sísmico, con análogos comportamientos estructurales a la de los materiales convencionales.” (Alderete et al, 2006).

Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, puede utilizarse la estabilización granulométrica, que consiste en la mezcla de proporciones de diferentes tierras y la estabilización química, en que se agrega un aditivo químico a la tierra, generalmente aglomerante tipo cemento o cal. (Neves et al, 2011).

Procedimiento de elaboración de los BTC: Previo a la construcción, se realizó la identificación y clasificación de la tierra disponible en la zona, así se determinó, mediante ensayos simples la mezcla óptima de tierra-cemento para alcanzar una eficiente estabilización con lo que se logró mejorar las propiedades finales de los componentes.

Teniendo en cuenta ensayos efectuados, logramos un suelo apto para ser empleado mejorándolo mediante la adición de arena. La composición final del suelo utilizada fue: arcilla 10%, limo 20%, arena 70%.

**1-Pulverización del suelo:** el suelo fue desmenuzado hasta obtener una granulometría que pasara por una zaranda de 5 mm de orificio.

**2-Mezclado del cemento con el suelo en seco:** La dosificación que se utilizó es de 90% de suelo, 10% cemento. Este trabajo se efectuó en hormigonera de 130 lts. hasta obtener una distribución uniforme del cemento portland en el suelo.

**3-Incorporación del agua y control de humedad:** luego se incorporó a la mezcla la cantidad de agua necesaria hasta el contenido óptimo de humedad, con la que se obtuvo la máxima densidad al compactarla. La forma de controlar prácticamente la humedad óptima consiste en tomar un puñado de mezcla y apretarlo fuertemente, deberá tomar forma manteniendo ligadas sus partículas (cohesión) sin que se pegue a la mano ni escurra agua.

**4-Fabricación del ladrillo empleando la máquina CINVA – RAM:** La máquina consiste, fundamentalmente en un molde metálico, dentro del cual la mezcla de suelo y cemento portland es compactada mediante un pistón accionado por un mecanismo de palancas.

**5-Curado de los ladrillos:** Los bloques se cubrieron con plástico negro, manteniéndolos húmedos mediante riegos sucesivos de agua, durante siete días, luego se estacionaron en un lugar al abrigo del sol y las corrientes de aire durante 20 días para luego ser estibados en el depósito. Para la realización de los mampuestos de suelo-cemento, se hicieron los ensayos de compresión con 6%, 8% y 10% de cemento en la mezcla, en base a esos resultados se decidió la proporción de 10% de agregado de cemento. (Figuras 3-4-5-6 y 7).

**Figuras 3-4- 5- 6 y 7-** Fotografías del proceso de construcción de los bloques con CINVA-RAM.



Fuente: fotografías tomadas por el autor.

#### 4-Resultados

Partido adoptado: Se propuso una planta funcional simple, resuelta en **U**, lo que permite además de zonificar actividades, la definición de un espacio central exterior delimitado en tres de sus lados por el edificio y por el farallón que actúa como una cuarta pared protegiéndolo de los fuertes y fríos vientos cordilleranos del oeste, conformando virtualmente el cierre del claustro, otorgando a la vez valor agregado, redefiniendo la relación recíproca entre el hombre y la naturaleza, ya que aparece magníficamente como telón fondo. (Figuras 8 y 9).

**Figura 8** Gráfico de la fachada principal orientada al Oeste



Fuente: gráfico realizado por el autor.

**Figura 9** Fotografía fachada principal de la escuela terminada

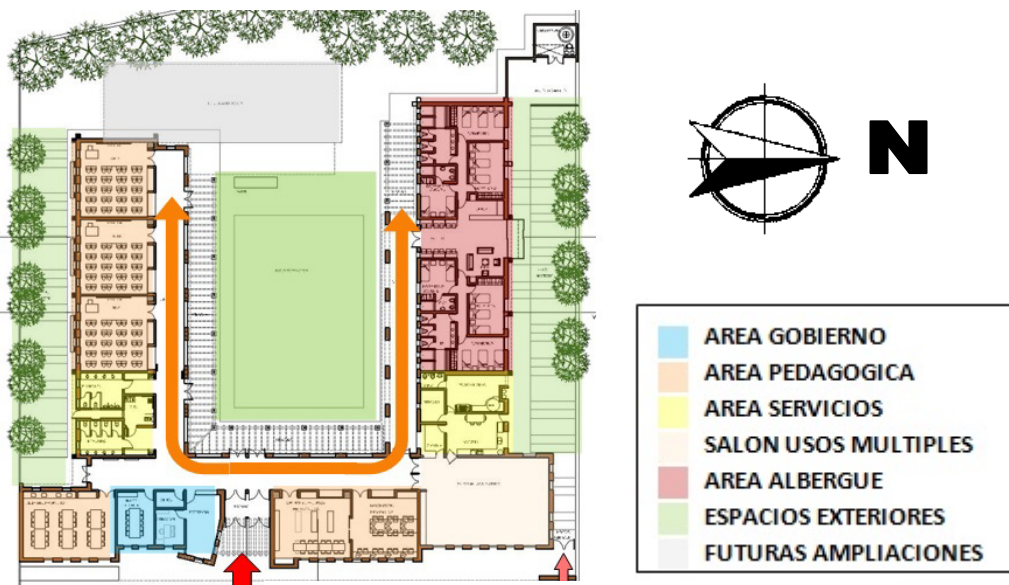


Fuente: fotografía tomada por el autor.

Además cuenta con dos ingresos secundarios independientes, para servicio y para albergue manteniendo así su autonomía.

El eje de circulación en U, articula y vincula los espacios de uso claramente definidos. (Figura 10).

**Figura 10** Gráfico del partido arquitectónico.



Fuente: gráfico elaborado por el autor.

La ejecución de la obra se comenzó en septiembre de 2011, financiada por el Programa Nacional Mas Escuelas II préstamo BID 2424, gestionada, proyectada e inspeccionada a través de la Dirección de Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Catamarca.

### Descripción de la envolvente

Antofagasta de la Sierra pertenece a zona sísmica 2, de moderada peligrosidad, por lo tanto, las mamposterías de suelo-cemento, se utilizaron sólo como cerramientos y siempre vinculados a estructuras independientes de H<sup>2</sup>A, no como mampostería portante.

Los muros exteriores tienen un espesor de 45 cm en total, están compuestos por doble mampostería de bloques de suelo cemento comprimido de 18x29x10 cm., asentados con dos partes de cal, una parte cemento y nueve partes de suelo (1:2:9), con aislación de 7 cm. de poliestireno expandido alta densidad 20 Kg/m<sup>3</sup>. La mampostería de suelo cemento se construyó por encima de un sobrecimiento de mampostería de piedra de la región, de 50 cm de espesor y 40 cm de altura sobre el nivel de piso terminado interior, la piedra evita el contacto de la mampostería de suelo-cemento con la humedad del suelo natural previniendo su deterioro. (Figuras 11 y 12).

**Figura 11** Fotografía sobre-cimiento de piedra



**Figura 12** Fotografía mampostería doble c/aislación



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor

El revoque se realiza del mismo material de los mampuestos y de la mezcla de asiento, con un espesor mínimo de 5 mm., lo que asegura una correcta adhesión.

La carpintería, es de aluminio por su alta hermeticidad y mínimo mantenimiento, es de vidrio doble laminado 3 + 3 mm. Los accesos principales incluyen puertas trampa a fin de limitar las pérdidas de calor por el continuo ingreso y egreso de personas.

La envolvente superior está compuesta por un cielorraso de madera. Como barrera de vapor se aplicó, una imprimación de tipo emulsión asfáltica. Luego se colocaron placas de poliestireno expandido alta densidad 20 kg/m<sup>3</sup>, de 7 cm como aislación térmica. Posteriormente se realizó una mezcla de suelo-cemento de 7cm, con dosaje 9:1(suelo, cemento). Para asegurar el fraguado eficiente de la mezcla, se lo protegió del sol y la lluvia, cubriéndolo con un manto de polietileno y se mantuvo el regado por 8 días. Como aislación hidrófuga, se colocó una membrana de polietileno de 4mm. y nuevamente una capa de suelo-cemento de 5 cm (teniendo en cuenta las mismas especificaciones llevadas a cabo en la primera capa). La terminación se ejecutó con membrana líquida de color terracota. Este elemento innovador se utilizó para mejorar la resistencia a la erosión eólica y pluvial. (Figuras 13-14-15 y 16).

Debido a que todas las envolventes verticales y horizontales, llevan aislación, excepto aquellas dimensionadas como colectoras (muro trombe), se obtiene un bajo Coeficiente de Transmitancia Térmica (K) de 0,33 W/m<sup>2</sup>K para muros y 0,37 W/m<sup>2</sup>K en techos. El procedimiento de cálculo se ha desarrollado con el programa CEEMAKMP.xls, el cual se basa en la metodología del cálculo de las Normas IRAM vigentes.



**Figura 13 - 14 -15-16** Fotografías de ejecución de la cubierta de torta de barro s/estructura de madera.



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor

Es de fundamental importancia para climas fríos y en invierno, verificar la ausencia de condensación del vapor de agua, ya sea en forma superficial o intersticial (Gonzalo, 2009).

La falta de condensación se confirma en la simulación de ambas envolventes.

#### Sistemas pasivos de climatización:

- **Ganancia directa:** a través de ventanas orientadas al Norte (sector estudio y estar albergue) y al Este (comedor, área de gobierno y biblioteca). El área colectora se dimensiona en relación a un 20 % de superficie útil del local a acondicionar.
- **Invernadero:** recinto vidriado. El sol atraviesa los vidrios y calienta pisos y paredes interiores. La energía irradiada por estos se conserva en el ambiente. Se puede transferir éste calor a los espacios adosados a galería Norte a la par de las aulas o en el ingreso en el albergue. Es el caso. (Figura 18)
- **Muro acumulador o trombe sector dormitorios albergue:** Es una pared de superficie negra, color con un coeficiente de absorción del 95 % orientada al norte, cubierta del lado exterior con vidrio, generando una cámara de no más de 5 cm de espesor, con ventanillas regulables inferiores y superiores (1 % muro), que permiten la termocirculación del aire atrapado. El espesor de mampostería de suelo cemento es de 40 cm y le corresponde un K de 0,64 W/m<sup>2</sup>K. (Figura 18)

Para climas fríos, con una temperatura mínima media exterior anual de -3° C, se sugiere una relación de 0.43 a 0.78 de superficie colectora a superficie cubierta del local. (Collet, Maristany, 1995). Promediando estos valores, sería necesario un muro acumulador, equivalente al 60 % del área de piso (18 m<sup>2</sup>), o sea 10,8 m<sup>2</sup>.

Finalmente se estima un área necesaria promedio de muros Trombe de 8,15 m<sup>2</sup>, por cada dormitorio de alumno, mientras que 3 m<sup>2</sup> de ventanas aportan la ganancia solar directa restante.

**Figura 17** Galería Norte expansión aulas



**Figura 18** Fotografía muro trombe e invernadero



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor

**Sistemas solares activos:** Sólo se proponen para los servicios de electricidad y agua caliente en el albergue.

Para el cálculo de los colectores, se empleó el Mapa de Energías Renovables de la República Argentina (PROGRAMA MER 1.0). Permite hacer un mapeo del recurso solar y eólico y también posee la opción de realizaren cualquier parte del país un dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas y térmicas. (Tabla 3).

La radiación solar media anual que recibe una superficie horizontal en Antofagasta, es significativa de 19,22 MJ/m<sup>2</sup>. Para el mes más crítico en invierno, el mes de Mayo, con temperaturas que pueden llegar a -8,2 °C, la radiación que recibe un colector es de 25,57 MJ/m<sup>2</sup>, con una eficiencia de un 66 %, para invierno, por lo que deberá complementarse con algún otro sistema convencional. (Tabla 4) Como respaldo o fuente suplementaria de energía: los tanques acumuladores estarán provistos de una resistencia eléctrica.

**Tabla 3-** Cálculo de colectores para calentamiento de agua. **Tabla 4-** Cálculo de paneles fotovoltaicos

Dimensionamiento Térmico							
Mes	PHI(h/m <sup>2</sup> día)	KT	KD	HORAS SOL	PI(h/h/m <sup>2</sup> día)	Tº MEDIA	% SOLAR
Enero	6,338.40	0.53	0.43	13.96	5,422.17	25.40	1.15
Febrero	5,851.90	0.53	0.42	12.93	5,411.10	24.00	1.10
Marzo	4,814.96	0.50	0.42	12.14	4,988.67	22.40	1.00
Abril	3,880.88	0.50	0.41	11.31	4,623.63	18.10	0.84
Mayo	3,002.40	0.49	0.41	10.62	4,090.71	13.20	0.66
<b>Junio</b>	<b>2,543.70</b>	<b>0.46</b>	<b>0.41</b>	<b>10.26</b>	<b>3,688.64</b>	<b>9.40</b>	<b>0.54</b>
Julio	2,796.68	0.48	0.40	10.41	3,957.69	9.70	0.58
Agosto	3,616.78	0.52	0.39	11.00	4,596.01	12.90	0.72
Septiembre	4,545.30	0.52	0.40	11.79	5,002.15	15.10	0.82
Octubre	5,610.04	0.54	0.40	12.62	5,419.88	21.00	1.02
Noviembre	6,199.40	0.54	0.42	13.36	5,427.22	23.70	1.10
Diciembre	6,430.14	0.53	0.43	13.74	5,390.17	25.70	1.15

DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO							
Mes	MJ/m <sup>2</sup> día	KT	KD	RB	P-INC	HSP	N-PANELES
Enero	22.80	0.53	0.43	0.83	20.36	5.66	2.42
Febrero	21.05	0.53	0.42	0.83	20.06	5.57	2.45
Marzo	17.32	0.50	0.42	1.10	18.16	5.05	2.71
Abril	13.96	0.50	0.41	1.32	16.49	4.59	2.98
Mayo	10.80	0.48	0.41	1.55	14.21	3.95	3.46
<b>Junio</b>	<b>9.15</b>	<b>0.46</b>	<b>0.41</b>	<b>1.68</b>	<b>12.77</b>	<b>3.55</b>	<b>3.85</b>
Julio	10.06	0.48	0.40	1.62	13.75	3.82	3.58
Agosto	13.01	0.52	0.39	1.42	16.23	4.51	3.03
Septiembre	16.35	0.52	0.40	1.19	18.05	5.01	2.72
Octubre	20.19	0.54	0.40	0.99	19.96	5.54	2.46
Noviembre	22.30	0.54	0.42	0.86	20.30	5.54	2.42
Diciembre	23.13	0.53	0.43	0.80	20.31	5.64	2.42

Datos de entrada			
Temperatura de agua deseada (°C)	45	Ko = TA = (Perdidas óticas)	0.76
Litros por persona a calentar (Lts.)	50	Kp = U = (Perdidas térmicas)	6.5
Cantidad de personas	14	Area de colectores (m <sup>2</sup> )	8
Inclinación del colector (Grados)	36		
Albedo	0.3		

Datos de entrada			
Consumo diario (Wh/m <sup>2</sup> )	650	Potencia pico (W/m <sup>2</sup> ) del panel a usar	80
Nivel de descarga de las baterías(%)	30	Capacidad de las baterías en AH(12V)	220
Albedo	0.3	Dias Nublados	1
		Inclinación del panel	30

Eficiencias	
Controlador de Bateria	0.95
Bateria	0.8
Inversor	0.9
<b>Total del sistema</b>	<b>0.684</b>

Resultados	
Numero de Baterías	<b>0.99</b>

Nota: Si el sistema no posee inversor, la eficiencia del mismo debe establecerse a 1.  
Nota: Los valores son calculados con los valores de radiación solar en plano horizontal a menos que la inclinación no sea cero.

El agua caliente será suministrada por los 8 m<sup>2</sup> de colectores solares tipo planos, orientados al norte para la mejor captación en invierno, con una tolerancia de 20º e inclinados con un ángulo igual a la latitud del lugar más 10º. En el caso de la Villa 26º+10= 36º. (Figura 19).

El tanque de almacenamiento posibilita cierta cantidad de agua caliente de reserva, para regular el consumo en casos de dificultad de captación solar. El agua caliente (45º) proveniente de los colectores se almacena en dos tanques acumuladores de 435 lts. cada uno, conectados en serie. Se emplea el sistema de circulación por termosifón, donde el tanque acumulador se ubicará por encima del colector.

Se colocaron 4 módulos fotovoltaicos, policristalinos de alto rendimiento, potencia nominal 80 W, (Figura 20).

**Figura 19** Colector solar plano y tanque



**Figura 20** Paneles fotovoltaicos



**Figura 21** Cocina solar



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor.

Los alumnos de la escuela Secundaria N°39 de Antofagasta de la Sierra disfrutaron, desde septiembre de 2012, de su edificio sustentable. (Figuras 22).

**Figura 22** Fotografía de aérea de la escuela terminada



Fuente: todas las fotografías fueron tomadas por el autor

## 5-Conclusiones

Mediante la incorporación de aislación térmica en la envolvente, la construcción de muro Trombe combinados con la ganancia directa por ventanas e invernadero, los colectores solares calentadores de agua y fotovoltaicos, se logra un diseño de edificio energéticamente eficiente que aprovecha la energía del sol y de menor impacto ambiental que uno convencional.

El ahorro energético proporcionado por la combinación de la aislación térmica de las envolventes y la acumulación del calor en las masas de paredes y pisos en un clima tan riguroso como el de Antofagasta de la Sierra es un ejemplo concreto en favor del uso racional de la energía en la obra pública en la región.

La incorporación de suelo-cemento en casi todo el edificio permite no solo condiciones térmicas, larga durabilidad y adaptación al entorno, si no también edificios escolares de bajo costo pues es un material fácil de conseguir y que ahorra costos de transporte, no crea polución ni utiliza grandes cantidades de energía durante su fabricación. Las paredes de tierra poseen una buena inercia, siendo esto una condición recomendable de diseño, para climas continentales con grandes amplitudes térmicas, minimizando la necesidad de acondicionamiento de los locales.

Se plantea como futuro trabajo, el monitoreo térmico de la Escuela Secundaria N° 39, sea en condiciones reales de uso, o a través de la simulación con el programa Simedif, para determinar si las temperaturas interiores de los locales se encuentran en el rango de confort.

## 6-Bibliografía

- Alderete C., Sosa M., Arias L. E., Mellace R. F., Latina S. M., Ferreyra I. C. (2006) "Mampostería con tierra estabilizada comprimida" Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda (CRIATiC) Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán.
- Collet, L.E., Maristany A.R. (1995) Diseño Bioclimático de Viviendas, Ediciones Eudecor, Córdoba.
- Cúnsulo M., Kurbán A., Papparelli A., Montilla E., Ortega A., Ripoll V. (2008) "Evaluación térmica de escuela de educación especial en zona árida" Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- Esteves A., Gelardi D. (2003) "Docencia en arquitectura sustentable: programa de optimización de proyectos de arquitectura basado en el balance térmico" Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, N° 2, pp 10.31-10.34. ISSN 0329-5184.

- Eudes Quispe Juan, Condolí Juan, Gutiérrez Gregorio, Guzmán Hipólito, Calpanchay René, Mamani Jorge, Schilman Mariano, Reisner Daniela, Barada Julieta, Tommei Constanza, Nani Evelin, Corrales Barboza Fernando, Yacuzzi Paula, Tsuji Agustina, Cristillo Leonardo, Daich Leandro y Palacios Tomás (2011)- Puna y Arquitectura: Las formas locales de construcción- 1° Edición CEDODAL, Buenos Aires-
- Givoni, B (1969) "Man, Climate and Architecture" (Hombre, clima y arquitectura) Elsevier Publishing Company Limited, England.
- Gonzalo, Guillermo E. (2009) "Manual de Arquitectura Bioclimática y Sustentable", Tucumán - ISBN 950-43-9028-5
- Hernández, A (2003) "Geosol: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria" ASADES 2003, Argentina.
- IRAM (1996) - Norma 11603 - Acondicionamiento térmico de edificios, clasificación bioambiental de la República Argentina.
- Ministerio de Educación, Viceministerio de Gestión Institucional, Oficina de Infraestructura Educativa, (2008) Lima, Perú "Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos" Coordinador del equipo de estudios, normas y diseño de la OINFE: arq. José Miguel Núñez Idiáquez.
- Neves C., Borges Faria O., organizadores (2011) "Técnicas de construcción con tierra" –Bauru: FEB-UNESP PROTERRA-Varios autores -ISBN 978-85-64472-01-3.

## **Autores**

Erika Walter es Arquitecta, proyectista de la Dirección de Proyectos Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Catamarca, Argentina. Especialista en Gestión de la Infraestructura Educativa, GIE-FADU-UBA. eriwalter@gmail.com.

Matías Agüero es Arquitecto, proyectista de la Dirección de Proyectos Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Catamarca. Profesor titular Arquitectura II en el Instituto Terciario Gral. San Martín, Catamarca, Argentina. matias.aguero@hotmail.com.

María Gabriela Watkins es Arquitecta, proyectista de la Dirección de Proyectos Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Catamarca, Argentina. Especialista en Diseño Bioclimática, FACEN UNCA. malilawatkins@yahoo.com.ar.

Cecilia Brizuela Barros es Arquitecta, **Especialista en Diseño Bioclimática**, FACEN UNCA. Ejerce la profesión en forma privada. Asesora trabajos a nivel público y privado. Perteneció a la Dirección de Infraestructura Escolar del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Catamarca, Argentina. Realizando tareas inherentes a la Proyección, construcción de escuelas nuevas, ampliación, adecuación y /o refacción de otras existentes. **Fue consultor en el Ministerio de Educación de Catamarca- PRISE** (Programa de Reformas e Inversiones en el Sector Educación). cecilbrizu@gmail.com

Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable.

Vol. 1, pp. 01-07, 2016. Impreso en la Argentina. ISBN 000-000-00000-0-0



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución - No Comercial - Sin Derivar 4.0 Internacional.