

Paper

**Proyecto de viviendas sociales
bioclimáticas para la puna salteña.
Metodología para el desarrollo de una
propuesta ambiental y eficiente
energéticamente.**

**Avalos Ambroggio, Ana Sofía; Miguel, Sebastián;
Esteban, Nahuel; Zingone, María Fernanda**
sofia.avalos@unc.edu.ar; samiquel@ucasal.edu.ar;
arg.esteban.nahuel@gmail.com; ferzingone@gmail.com

Universidad Católica de Salta. Facultad de Arquitectura y
Urbanismo. Instituto de Sustentabilidad Energética y
Diseño Bioambiental. Campus Castaños. Salta,
Argentina.

Línea temática 2. Categorías, clasificaciones y métodos

Palabras clave

vivienda, bioclimática, confort, eficiencia, energía

Resumen

Desde una praxis basada en la metodología proyectual, consideramos al desarrollo de un proyecto de vivienda social como un mecanismo complejo que interactúa con múltiples problemáticas y abordajes que deben resolver de manera estratégica el problema central del hábitat, y cubrir las necesidades imprescindibles de confort en el contexto del Cambio Climático. Los estándares y variables vinculados al confort térmico,

las características del clima del lugar de emplazamiento de los edificios y las metodologías para su aprovechamiento, son herramientas fundamentales para que un edificio se considere como bioclimático y sea posible reducir el consumo energético para lograr condiciones de confort interior. Asimismo, el contexto geográfico y la

disponibilidad de recursos materiales y humanos, son variables que también se deben tener en cuenta, sobre todo en localidades distantes a los centros urbanos más poblados de la Argentina.

Este trabajo es parte de un proyecto de investigación que plantea un estudio metodológico para el diseño de un conjunto de viviendas sociales con características bioclimáticas, ubicado en zonas frías de la provincia de Salta-Argentina.

Propone el análisis y las verificaciones necesarias sobre los requerimientos de confort térmico de los espacios interiores y el aprovechamiento de las ganancias solares para calefacción y producción de energía.

Para ello, se estudian las recomendaciones de las Normas IRAM para zonas frías V y VI que se clasifican en: acondicionamiento térmico, orientaciones de edificios y locales, protecciones solares, entre otros. Además, se realiza un análisis climático de la localización de estudio utilizando datos obtenidos con el software Meteonorm 8 y procesados con Climate Consultant 6, del que se deriva una serie de recomendaciones sobre diseño. Las mismas involucran la forma arquitectónica y espacial, orientaciones, criterios de selección de sistemas constructivos y dispositivos para el aprovechamiento de ganancias solares para calefacción y protecciones solares y de los vientos.

Con estas premisas y recomendaciones se desarrolla un proyecto de viviendas sociales modulares y flexibles que, considera a su vez, el estudio y la recopilación de antecedentes a través de visitas de campo a la puna salteña recientemente, analizando proyectos similares en escala e indagando sobre el uso de técnicas constructivas locales.

Como conclusiones preliminares se desarrolla una guía metodológica de diseño bioclimático de viviendas útil para profesionales de la arquitectura y decisores gubernamentales involucrados en el desarrollo de proyectos y políticas de vivienda social.

Introducción

La demanda total de energía primaria de un edificio en Argentina es de alrededor de un 25% y, si se considera el ciclo de vida del sector de la construcción, la misma se eleva hasta un 40% (Czajkowski y Gómez, 2014). Por consiguiente, es necesario considerar de qué modo se podría reducir este consumo a través del diseño y la construcción de edificios sostenibles.

De acuerdo a Esteves (2020), un edificio es impactado por las variables climáticas, el cambio de las estaciones y las condiciones del contexto. Estas variables a su vez están relacionadas con las necesidades y demandas de confort térmico de los usuarios que los habitan. Además, la arquitectura sustentable involucra diferentes momentos del proceso de materialización de una obra: el proyecto, la selección de los materiales, su construcción y el manejo y uso del edificio.

Dentro de la etapa de desarrollo del proyecto de un edificio es de fundamental importancia no solo tener en cuenta consideraciones de diseño pasivo y ahorro energético, sino también contar con la posibilidad de realizar análisis y verificaciones pertinentes sobre los requerimientos de confort térmico, que orienten las decisiones de diseño.

De allí surge la inquietud que da origen a este trabajo, que se propone sistematizar información obtenida en el desarrollo de un proyecto de viviendas sociales en la Puna Salteña, elaborando una guía metodológica de diseño bioclimático de viviendas que incluya recomendaciones y verificaciones, y que sea útil para profesionales de la arquitectura.

Hipótesis

Las decisiones proyectuales sobre la orientación y forma de los edificios, así como la adopción de sistemas constructivos se vinculan con las condiciones climáticas y geográficas del emplazamiento de proyectos de viviendas. La consideración de estas variables en el proceso de diseño, permiten lograr condiciones de confort interior aceptables para los usuarios.

Antecedentes y Marco teórico

Desde los inicios de las preocupaciones ambientales y ecológicas surgidas en la segunda mitad del siglo XX, diferentes líneas de investigación se han dedicado a la elaboración de herramientas y manuales de diseño que permitan

aplicar enfoques de arquitectura bioclimática y climatización pasiva en trabajos de arquitectos, para orientar así decisiones proyectuales. Los manuales y tablas de diseño bioclimático de Olgyay (1953), Givoni, (1979), Mahoney, (1970) y Szokolay (1989) sentaron las bases para la elaboración de recomendaciones de diseño que se utilizan en la actualidad. A partir de allí, existen numerosos manuales de arquitectura solar y bioclimática que determinan estrategias de diseño y procedimiento de verificación de criterios puestos en juego (Mazria, 1983; Müller, 2002; Gonzalo, 2013; Flores Larsen, 2009; Bustamante et al., 2013; Blasco Lucas, 2013; Esteves, 2017) entre otros.

Además, desde hace algunos años, se ha incorporado el concepto de ahorro y de eficiencia energética dentro del proyecto arquitectónico mediante la aplicación de normas y estándares nacionales e internacionales. Pueden mencionarse las normas internacionales ISO (ISO 13786 y 13788) y las normas nacionales IRAM. El conjunto de normas IRAM referidas al acondicionamiento térmico en edificios (11549; 11601; 11603; 11604; 11605; 11625; 11630; 11658 1 y 2; 11659 1 y 2) se desarrollan en el país desde hace más de tres décadas y se refieren a procedimientos de cálculos de desempeño térmico en régimen estacionario.

De este modo, tomando en cuenta recomendaciones de manuales de diseño, y valiéndose de las Normas sobre características de los materiales de construcción y metodología para el cálculo de la eficiencia de cerramientos a partir de conocer la composición constructiva y material de los mismos, se pueden verificar algunos estándares de confort interior en edificios.

Metodología

1-Análisis de características climáticas de la localización de estudio

Se realizó un análisis climático de la San Antonio de los Cobres consultando diferentes fuentes de información, ya que la localidad no posee una estación meteorológica que registre datos climáticos. Los datos de temperatura, humedad relativa, frecuencia, dirección y velocidad de vientos y radiación solar fueron obtenidos de la base de datos climáticos del software Meteonorm 8. Los valores de radiación solar se compararon con datos obtenidos de la página web Sisol de la provincia Salta (Sarmiento Barbieri et al., 2017). Los valores de temperaturas medias mensuales fueron comparados con un informe elaborado por el INTA (Paoli, 2003). Los datos de altura solar y azimut se obtuvieron de la página SunEarthTools.

2-Relevamiento de antecedentes

Se evaluaron antecedentes de proyectos construidos en San Antonio de los Cobres, similares en escala, relevados a través de visitas de campo a la puna salteña. Se identificaron características de construcciones existentes, técnicas constructivas locales y materiales utilizados, a fines de poder obtener información preliminar acerca de las prácticas habituales de diseño y construcción de viviendas.

3- Planteo de estrategias de diseño bioclimático

Se utilizó el software Climate Consultant 6 para procesamiento de datos climáticos y planteo de estrategias. Este programa elabora una sistematización de recomendaciones de diseño, superponiendo datos climáticos horarios en el Diagrama de Givoni (1979), que incluye zonas de estrategias bioclimáticas pasivas. De esta manera, se puede ver qué porcentaje de horas al año corresponde a cada estrategia. Las estrategias pasivas sugeridas por Climate Consultant 6 fueron contrastadas con las recomendaciones de la Clasificación Bioambiental de la República Argentina para Acondicionamiento de Edificios, (IRAM 11603, 1996).

4-Propuesta de diseño del conjunto de viviendas sociales.

El caso de estudio que se presenta en este trabajo es un proyecto de viviendas sociales modulares y flexibles, teniendo en cuenta las recomendaciones de diseño obtenidas del análisis climático y la revisión de antecedentes. A partir de un Convenio realizado con la Municipalidad de San Antonio de los Cobres y La Universidad Católica de Salta, se realiza una propuesta de anteproyecto para un conjunto de vivienda social de 32 unidades para 2,4 y 6 integrantes. El predio asignado cuenta con aproximadamente 5.900 m² en el norte de la localidad, denominado Pueblo Nuevo cuyas coordenadas son 24°12'05" S y 66°19'01" O.

5-Evaluación y verificación de envolventes propuestas

El anteproyecto del conjunto de viviendas sociales tuvo diferentes instancias de avance y se fueron articulando los siguientes análisis con el proceso proyectual:

5.1-Análisis de penetración y obstrucción solar de las aberturas de las viviendas planteadas en el proyecto mediante el software SOL-AR. Se plantearon distintas alternativas para el ajuste de tamaño de aberturas y aleros conforme a las recomendaciones de diseño sistematizadas en el punto 3.

5-2- Análisis de muros y cubiertas propuestas. Se compararon resultados con soluciones que habitualmente se encuentran en las viviendas de la localidad. Se realizaron cálculos de transmitancia térmica (K) y resistencia térmica (R) conforme al procedimiento de cálculo de IRAM 11601 (2002) para régimen estacionario y se verificaron niveles admisibles presentados en la Norma 11605 (1996).

Los datos tenidos en cuenta en el cálculo fueron: temperatura interior de diseño de 18°C, temperatura exterior de diseño de -8°C, humedad relativa exterior de diseño de 57% y humedad relativa interior de diseño: 90%. Además, se realizó un análisis de acuerdo al procedimiento de la norma italiana UNI basada en ISO 13786 para régimen transitorio. Se verificaron valores de amortiguamiento (fd), desfaseamiento (φ), transmitancia térmica periódica (Yie) y capacidad térmica del lado interno de la envolvente (K1). Los valores admisibles fueron extraídos de la Guía Nacional de certificación de edificios del Ministerio de Medio Ambiente y Protección del Territorio y Mar, Italia (2008).

Resultados

1-Análisis de características climáticas de la localización de estudio

De acuerdo a la clasificación climática de la Norma IRAM 11603, la localidad de San Antonio de los Cobres está ubicada en la Zona V, fría, en la zona de la Puna Salteña. El clima es seco y frío, con vientos fuertes y constantes, presentando así condiciones climáticas muy duras, especialmente en los meses invernales de junio, julio y agosto. Además, existe una gran amplitud térmica diaria, que puede alcanzar los 26° C, medias anuales inferiores a 8° C y mínimas invernales inferiores a -10° C (INTA, 2003), lo que es consecuencia directa de la considerable altitud de su ubicación geográfica: 3756 metros sobre el nivel del mar.

Las temperaturas medias mensuales se presentan resumidas en la Tabla 1, que contrasta datos obtenidos del informe INTA (2003) y el software Meteororm 8. Se puede observar que en el periodo cálido no superan los 12°C, mientras que en el período frío descienden a los 2°C.

Tabla 1: Temperaturas medias mensuales de San Antonio de los Cobres, Salta

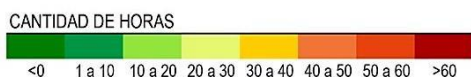
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Meteororm 8	12.0	11.5	10.6	8.6	6.4	5.0	4.4	6.4	7.9	10.1	11.2	11.9
INTA	11.0	10.8	10.0	7.5	4.2	2.3	1.7	3.9	6.0	8.2	10.0	10.6

Fuente: Elaboración de autores en base a datos climáticos extraídos de Meteororm 8 y Paoli (2003).

La Tabla 2 muestra el valor y la distribución de los registros de temperaturas a lo largo del año, y la cantidad de horas con temperaturas dentro de la zona de confort. Se puede ver que las temperaturas son muy frías la mayor parte del año. Del total de horas anuales (8760) solamente 597 horas presentan temperaturas de confort térmico.

Tabla 2: Registro de temperaturas anuales en función a la zona de confort de San Antonio de los Cobres, Salta

	<-6 °C	-6 a -5 °C	-5 a -4 °C	-4 a -3 °C	-3 a -2 °C	-2 a -1 °C	-1 a 0 °C	0 a 1 °C	1 a 2 °C	2 a 3 °C	3 a 4 °C	4 a 5 °C	5 a 6 °C	6 a 7 °C	7 a 8 °C	8 a 9 °C	9 a 10 °C	10 a 11 °C	11 a 12 °C	12 a 13 °C	13 a 14 °C	14 a 15 °C	15 a 16 °C	16 a 17 °C	17 a 18 °C	18 a 19 °C	19 a 20 °C	20 a 21 °C	21 a 22 °C	22 a 23 °C	23 a 24 °C	24 a 25 °C	25 a 26 °C	26 a 27 °C	27 a 28 °C	28 a 29 °C	% horas confort	
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	4	19	24	25	35	41	54	57	50	63	60	47	61	52	36	34	37	27	4	5	6	3	0	0	0	0	0	0	0	11.02%
FEB	0	0	0	0	0	0	0	6	6	11	19	35	31	48	48	54	46	54	77	47	37	44	31	25	28	10	6	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7.89%
MAR	0	0	0	0	0	0	0	0	12	15	22	43	53	65	68	73	68	57	66	40	45	35	26	19	18	11	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.97%
ABR	0	0	0	3	5	7	17	10	23	29	62	55	66	61	58	63	44	48	46	30	34	18	13	8	8	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.78%
MAY	0	0	7	12	19	20	24	34	35	40	50	53	59	59	54	51	47	38	34	36	17	18	17	8	6	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.81%
JUN	16	9	0	23	26	29	33	39	40	37	42	45	55	38	47	43	42	33	33	28	14	10	13	5	3	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71%	
JUL	39	25	16	18	34	36	34	36	42	53	42	37	37	31	38	31	33	33	22	26	23	14	14	10	7	3	5	0	0	2	1	2	0	0	0	0	1.75%	
AGO	18	11	24	22	17	21	24	39	34	39	42	40	40	39	39	33	37	34	28	30	20	20	15	13	16	10	11	8	8	4	5	3	0	0	0	0	6.59%	
SEP	4	10	11	6	25	16	27	27	31	25	32	38	41	33	38	44	33	45	34	33	26	21	18	21	18	17	17	13	7	4	1	1	3	0	0	0	8.75%	
OCT	0	0	4	4	7	7	11	20	20	16	21	36	48	48	32	49	46	42	52	50	37	30	29	33	27	17	13	12	13	7	5	4	4	0	0	0	10.08%	
NOV	0	0	0	0	4	7	10	15	16	13	39	39	27	43	46	46	55	50	55	35	39	32	34	22	18	20	20	10	11	5	5	2	2	0	0	0	12.64%	
DIC	0	0	0	0	0	0	4	9	14	10	17	28	46	42	54	56	63	55	57	32	40	44	36	34	24	22	27	17	3	6	2	2	0	0	0	0	13.84%	
	77	55	62	85	131	138	167	226	242	285	326	432	505	506	548	579	587	551	530	564	368	369	331	266	219	182	147	102	73	39	26	17	11	2	0	0		
	8149 Horas < zona de confort																							597 Horas Zona de Confort														

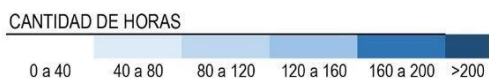
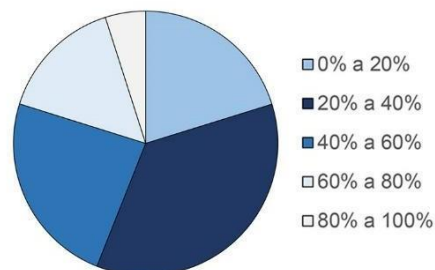


Fuente: Elaboración de autores en base a datos climáticos extraídos de Meteororm 8, usando la tabla de Avalos y Calvo (2017).

Por otra parte, el clima de San Antonio de los Cobres presenta bajos niveles de humedad relativa. La Tabla 3 muestra el valor y la distribución de los registros de humedad relativa a lo largo del año.

Tabla 3: Registro anual de humedad relativa de San Antonio de los Cobres, Salta

	0%	0 a 10%	10 a 20%	20 a 30%	30 a 40%	40 a 50%	50 a 60%	60 a 70%	70 a 80%	80 a 90%	90 a 100%	% horas confort
ENE	0	0	0	41	104	119	127	138	119	64	32	87.10%
FEB	0	0	0	16	77	89	101	119	131	115	24	79.32%
MAR	0	0	0	15	111	146	142	145	124	58	3	91.80%
ABR	0	0	27	164	176	170	110	52	21	0	0	96.25%
MAY	0	30	241	251	143	59	20	0	0	0	0	63.58%
JUN	0	78	281	224	109	20	4	4	0	0	0	50.14%
JUL	0	101	274	205	142	21	1	0	0	0	0	49.60%
AGO	0	131	253	204	117	37	2	0	0	0	0	48.39%
SEP	0	53	253	168	141	83	10	1	11	0	0	57.50%
OCT	0	0	157	170	141	170	77	21	8	0	0	78.90%
NOV	0	0	42	138	143	116	142	82	29	21	7	90.28%
DIC	0	0	0	78	123	111	138	116	105	64	9	90.19%
	0	393	1528	1674	1527	1141	874	678	548	322	75	



Fuente: Elaboración de autores en base a datos climáticos extraídos de Meteonorm 8, usando la tabla de Avalos y Calvo (2017).

El período más húmedo coincide con los meses en donde las precipitaciones son más abundantes, de noviembre a marzo. La humedad relativa media para este período es de 50% aproximadamente. Los meses entre mayo y septiembre presentan valores de entre 10% y 30%, valores que rozan el umbral inferior de las condiciones de confort establecidas entre el 20% y el 80% (Müller, 2002; Esteves 2017).

Los vientos son fríos a lo largo de todo el año, con temperaturas entre 8 y 18°C. Proviene del cuadrante sur con velocidades medias de 2 a 3 m/s, lo que equivale a 8 km/h a 10km/h.

El recurso solar está disponible prácticamente todo el año debido a la latitud, altitud y condiciones de cielo descubierto. En el solsticio de verano la altura solar máxima es de 84.56° a las 12:00hs, mientras que en el solsticio de invierno es de 41.91° a la misma hora. En los equinoccios la altura solar alcanza los 64.08° el 21 de marzo y los 64.97° el 21 de septiembre. Los valores estimados de radiación solar global acumulada anual sobre plano horizontal se estiman en 2263 kWh/m² año con valores mensuales promedios de entre 129,41 kWh/m² para junio y 232,29 kWh/m² para diciembre (datos obtenidos de <http://sisol.salta.gob.ar/>)

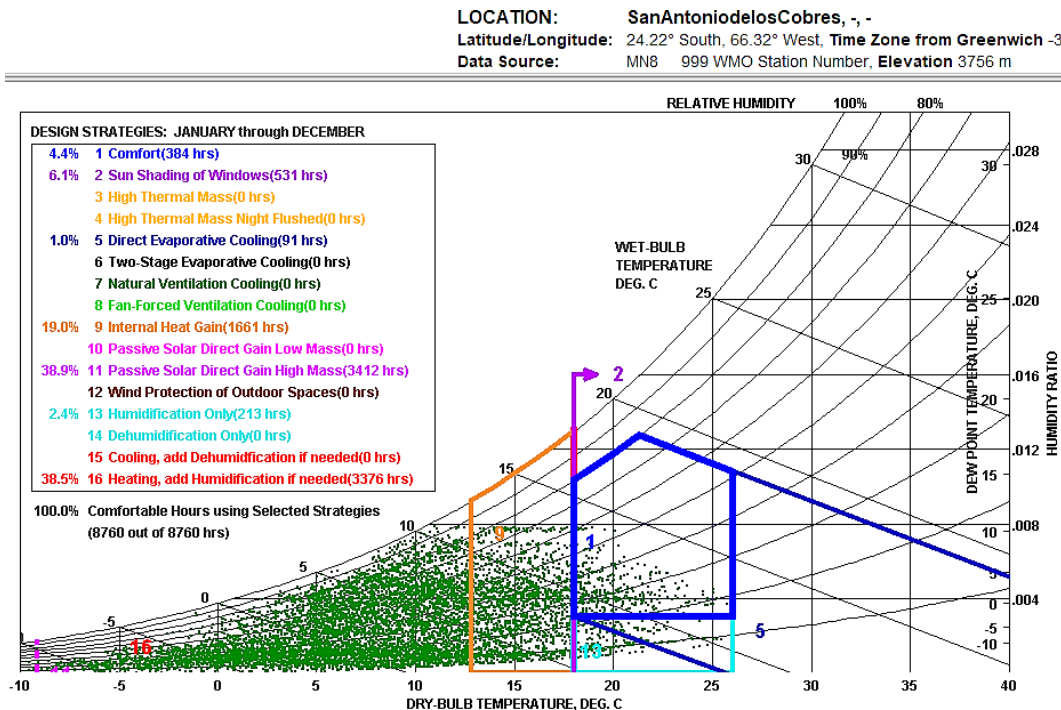
2- Relevamiento de antecedentes

El relevamiento de los edificios de viviendas y conjuntos habitacionales de la zona permitieron identificar las siguientes características:

- 1- Las viviendas de la localidad analizada son de una planta y existen aislados casos de edificios de viviendas de más de una planta.
- 2- En muy pocos casos se observan estrategias de conjuntos compactos creando patios y recintos para el control de los vientos.
- 3- En su mayoría se utiliza ladrillos de adobe realizados in situ o ladrillos cerámicos huecos de 12cm de espesor o portantes de 18cm con revoques interiores y exteriores. No se consideran en general sistemas constructivos con aislaciones adecuadas para el clima de la región.
- 4- Las cubiertas por lo general son de tres tipos: a) Chapa con escasa aislación, b) tejas con escasa aislación y c) torta de barro, paja y cañizo.
- 5- Los cerramientos cuentan con pequeñas aberturas de ventanas con carpinterías de baja eficiencia tanto en sus sistemas de aislación como de cerramiento y hermeticidad.
- 6- La vegetación es muy escasa dada las condiciones climáticas adversas de la localidad para su crecimiento y desarrollo.
- 7- No se observan sistemas de ganancias solares pasivas para calefaccionar los interiores de las viviendas.

Los resultados arrojados por el software Climate Consultant 6 se presentan en la Figura 1. Se puede observar que, del total de 8760 horas, solo el 4.4% presenta condiciones de confort térmico. En cuanto a las estrategias pasivas, las más relevantes son *Ganancia Solar directa sobre Masa térmica* (corresponde al 38.9% de las horas del año) y *Aprovechamiento de Ganancias Internas* (corresponde al 19.0% de las horas totales). Además, el programa indica que el 38,5% de las horas del año presentan frío extremo, por lo que será necesario contar con un sistema de calefacción activo.

Figura 1: Diagrama de Givoni con estrategias pasivas para San Antonio de los Cobres



Fuente: Climate Consultan 6

A partir de los resultados, se definen pautas y criterios de diseño a tener en cuenta para el anteproyecto de viviendas sociales (IRAM 11603, 2011; Climate Consultant 6).

- 1- Se recomiendan las formas compactas que disminuyan las pérdidas de calor.
- 2- Disposición de edificios formando claustros con patios internos orientados al norte, para maximizar la ganancia solar directa y para protección contra vientos predominantes del sur. Además, se deben proteger las entradas a espacios interiores a través de vestíbulos con doble puerta.
- 3- Aprovechamiento de la ganancia solar directa:
 - 3.a. Orientaciones: Existen elevados niveles de radiación solar, es decir, la orientación tendrá una incidencia importante en la demanda de energía para calefacción. Las orientaciones de máxima ganancia recomendadas en la norma son NE-N-NO. Los locales de servicio deben estar orientados al sur.
 - 3.b. Asoleamiento: El asoleamiento es deseable en todas las épocas del año (Zona V). Es recomendable obtener como mínimo seis horas de asoleamiento para optimizar la captación de energía. En edificios con

orientación Este-Oeste se acepta una hora de asoleamiento en todos los locales habitables. En este caso, se recomienda que los edificios tengan dos fachadas orientadas al sol.

3.c. Aberturas: Aisladas con DVH y protegidas con cortinas operables para ganancia directa de día y protección nocturna. Dimensionadas para captar radiación directa al norte. En otras orientaciones deben ser de dimensiones controladas para evitar pérdidas excesivas. Las aberturas al sur (dirección de vientos predominantes) deben evitarse o ser lo más reducidas posible.

- 4- La gran amplitud térmica diaria hace que sea muy recomendable el uso de masa térmica e inercia térmica para captar y acumular energía durante el día a través de muros acumuladores.
- 5- La aislación térmica de paredes, pisos y techos es un factor primordial a tener en cuenta tanto en envolventes verticales como horizontales.

4-Propuesta de diseño del conjunto de viviendas sociales.

El proyecto elaborado conjuga diferentes tipologías de viviendas, áreas comunes y pequeños comercios de aproximación. Se genera un conjunto con identidad para la zona y se tienen en cuenta las condiciones geográficas y climáticas del sitio.

Se utiliza una disposición en forma de claustros con patios propios y comunes para las unidades, controlando los vientos del sur y garantizando el asoleamiento de las fachadas principales de las unidades (ver figura 2). Los accesos a las viviendas se organizan desde las calles perimetrales y 2 calles interiores, que a su vez configuran espacios de uso público para el conjunto.

Se plantean unidades de dos plantas, estableciendo una mayor densidad de habitantes en la zona y se alternan con unidades de una sola planta para permitir el asoleamiento en el conjunto.

Figura 2: Imagen de fachadas norte y oeste del conjunto



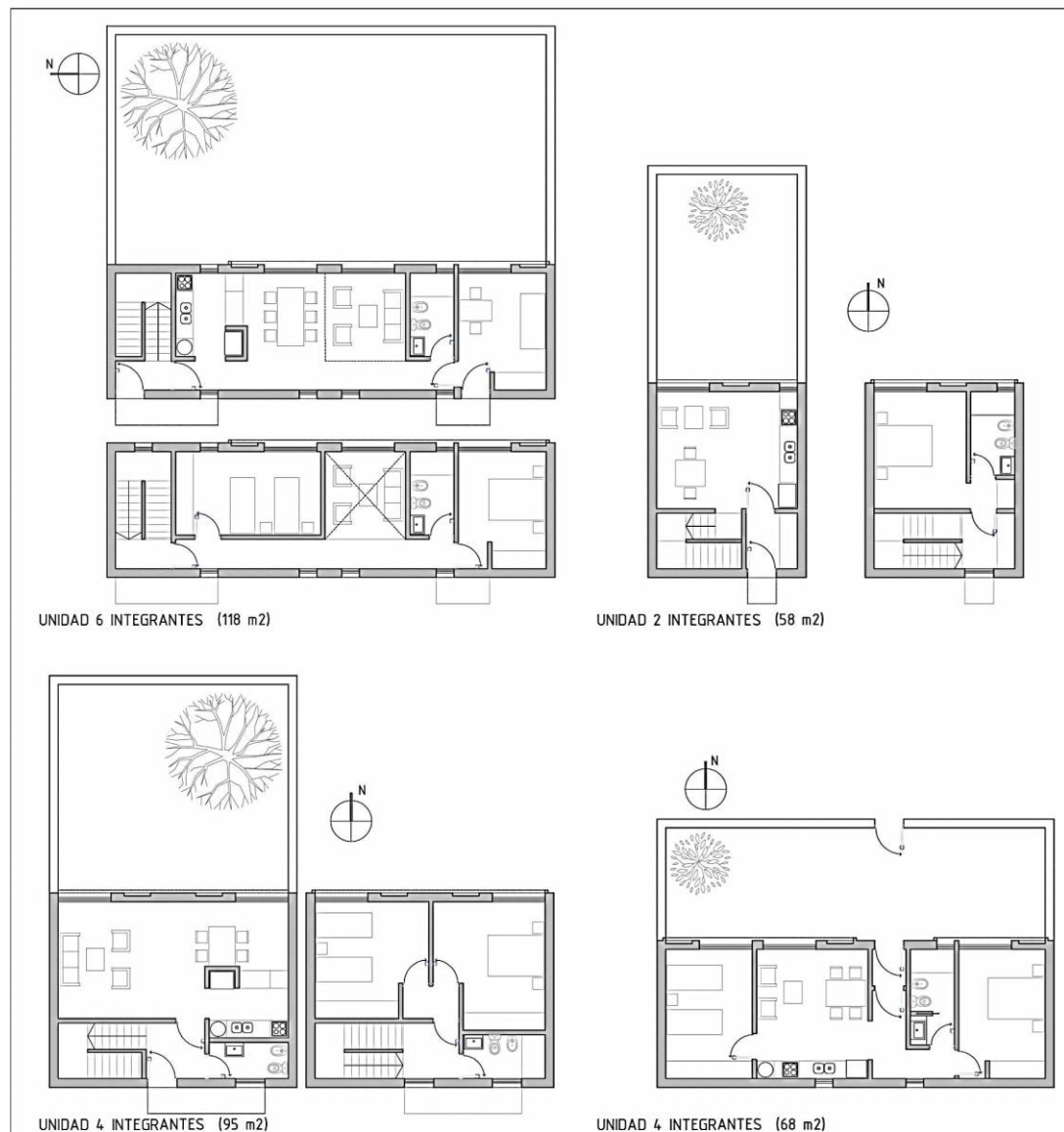
Fuente: Elaboración de los autores.

La distribución interior de las viviendas es flexible. En algunos casos, locales de dormitorios en planta baja tienen la posibilidad de acceso desde el exterior para su independencia y cambio de uso. Todos los accesos a las unidades cuentan con hall y doble puerta garantizando una zona térmica de confort para el área social y privada de las unidades.

Las unidades de vivienda tienen dos posibles orientaciones: 1) Norte-sur y 2) Este-Oeste. Para el primer caso: unidades para 4 integrantes; locales de servicios y circulaciones orientados al sur; aberturas al sur pequeñas y controladas; estar-comedores y dormitorios orientados al norte, a donde se ubican aberturas más grandes y muros acumuladores de calor para calefacción.

En el segundo caso: unidades para 6 integrantes; locales principales hacia el este o el oeste, dependiendo de la posición de las unidades, disponiendo también hacia estas orientaciones los muros acumuladores de calor. Ver figura 3.

Figura 3: Unidades de vivienda propuestas para 2, 4 y 6 integrantes



Fuente: Elaboración de los autores

5-Evaluación y verificación de la Propuesta de diseño.

5.1-Análisis preliminar de penetración y obstrucción solar de las aberturas.

La Tabla 4 muestra los resultados de la evaluación de ingreso solar por abertura. Se presentan solo 4 aberturas de 2 tipologías. El gráfico de máscaras solares describe los meses del año y horarios en donde existe ingreso de sol. La abertura V1 y V2 pertenecen a la misma tipología, están orientadas al norte, la V1 corresponde a planta baja y la V2 a planta alta.

Tabla 4: Análisis de máscaras de sombras por abertura

<p>Tipología 4 personas - Abertura V1 Planta Baja Ene: Sin ingreso solar. Dic/Nov: Sin ingreso solar. Feb/Oct: Ingreso solar: desde 09:00 a 12:30hs Mar/Sep: Ingreso solar: desde 7:30 a 12:45hs Abr/Ago: Ingreso solar: amanecer a 12:45hs May/jul: Ingreso solar: amanecer a 13:00hs Jun: Ingreso solar: amanecer a 13:15hs</p>	<p>Tipología 4 personas - Abertura V1 Planta Baja Ene: Sin ingreso solar. Dic/Nov: Sin ingreso solar. Feb/Oct: Ingreso solar: amanecer a 12:00hs Mar/Sep: Ingreso solar: amanecer a 14:15hs Abr/Ago: Ingreso solar: amanecer a 15:15hs May/jul: Ingreso solar: amanecer a 16:15hs Jun: Ingreso solar amanecer a 16:30hs.</p>
<p>Tipología 6 personas - Abertura V5 Planta Baja Ene: Sin ingreso solar. Dic/Nov: Sin ingreso solar. Feb/Oct: Ingreso solar: desde 09:00 a 12:30hs Mar/Sep: Ingreso solar: desde 7:30 a 12:45hs Abr/Ago: Ingreso solar: amanecer a 12:45hs May/jul: Ingreso solar: amanecer a 13:00hs Jun: Ingreso solar: amanecer a 13:15hs</p>	<p>Tipología 6 personas - Abertura V5 Planta Baja Ene: Ingreso solar: amanecer a 11hs Dic/Nov: Ingreso solar: amanecer a 11hs. Feb/Oct: Ingreso solar: amanecer a 11:00hs Mar/Sep: Ingreso solar: amanecer a 10:50hs Abr/Ago: Ingreso solar: amanecer a 10:50hs May/jul: Ingreso solar: amanecer a 10:30hs Jun: Ingreso solar amanecer a 10:30hs</p>

Fuente: Elaboración de los autores.

En la abertura V1-PB se puede ver que, durante el invierno, desde abril hasta agosto, se garantizan 6 horas de penetración solar durante la mañana, pese a que la misma presenta una obstrucción debida al muro medianero divisorio entre tipologías. La abertura V2-PA cuenta con más horas aún de ingreso solar ya que la obstrucción no existe. Es decir, se garantiza lo establecido en las estrategias de diseño.

En cuanto a las aberturas de la tipología de 6 personas, V5 y V6, ambas tienen orientación este, por lo tanto, reciben penetración solar durante la mañana, desde el amanecer hasta el mediodía. Se garantiza así las 6 horas requeridas de ingreso solar durante todo el año.

5.2-Análisis de envolventes.

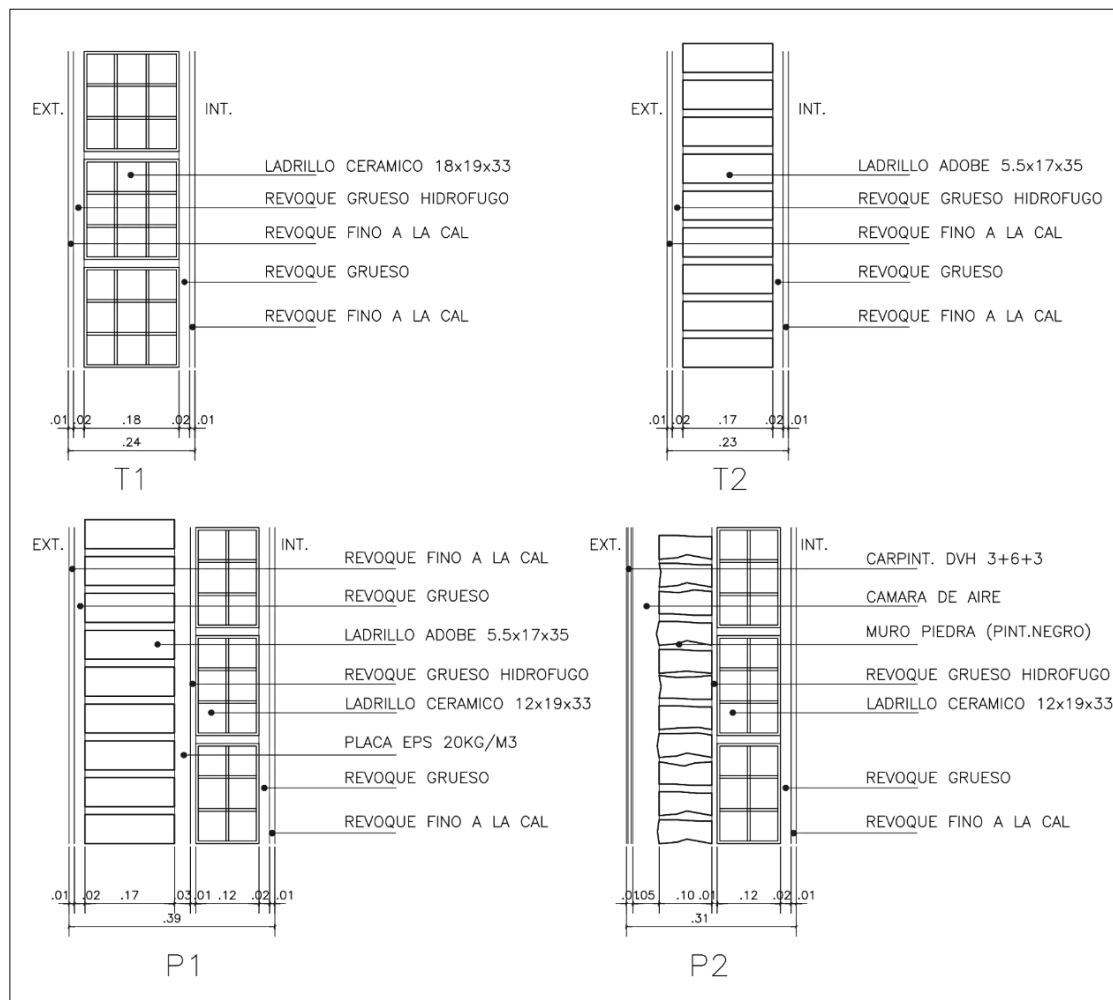
La solución constructiva propuesta para muros exteriores presenta dos alternativas: Muro exterior propuesto (P1) y Muro propuesto acumulador (P2). Las alternativas propuestas P1 y P2 se compararon con dos sistemas de construcción usual en San Antonio de los Cobres de acuerdo al relevamiento de antecedentes, los muros tradicionales T1 y T2.

El muro exterior propuesto P1 está compuesto de interior a exterior por: revestimiento interior de revoque grueso y fino de 3 cm pintado con pintura látex para interiores; ladrillo cerámico portante de 12cm x 19cm x 33cm; una capa de revoque tipo impermeable con aditivo hidrófugo de 1 cm; una capa de aislación térmica compuesta por una plancha de EPS de 20 kg/ m³ de densidad y 2,5cm de espesor; ladrillo de adobe de 17 cm con terminación exterior de 3 cm de revoque grueso y fino pintado con pintura tipo látex para exteriores.

El Muro acumulador propuesto P2 está compuesto de interior a exterior por: revestimiento interior de revoque grueso y fino de 3cm pintado con pintura latex para interiores; ladrillo cerámico portante de 12cm x 19cm x 33cm; una capa de revoque tipo impermeable con aditivo hidrófugo de 1cm; un revestimiento de piedra de 10cm de espesor, pintada de color negro, una cámara de aire de 5cm y una abertura con carpintería de aluminio y vidrio transparente tipo DVH 3+6+3.

El muro tradicional T1 está compuesto de un ladrillo cerámico portante de 18x19x33, revestido en ambas caras por 3 cm de revoque grueso y fino. El muro tradicional T2 está compuesto por un ladrillo de adobe de 17 cm de ancho, revestido en ambas caras por 3 cm de revoque grueso y fino. Las alternativas evaluadas se muestran en la Figura 4.

Figura 4: Detalles constructivos de muros exteriores existentes en la localidad y propuestos en el proyecto



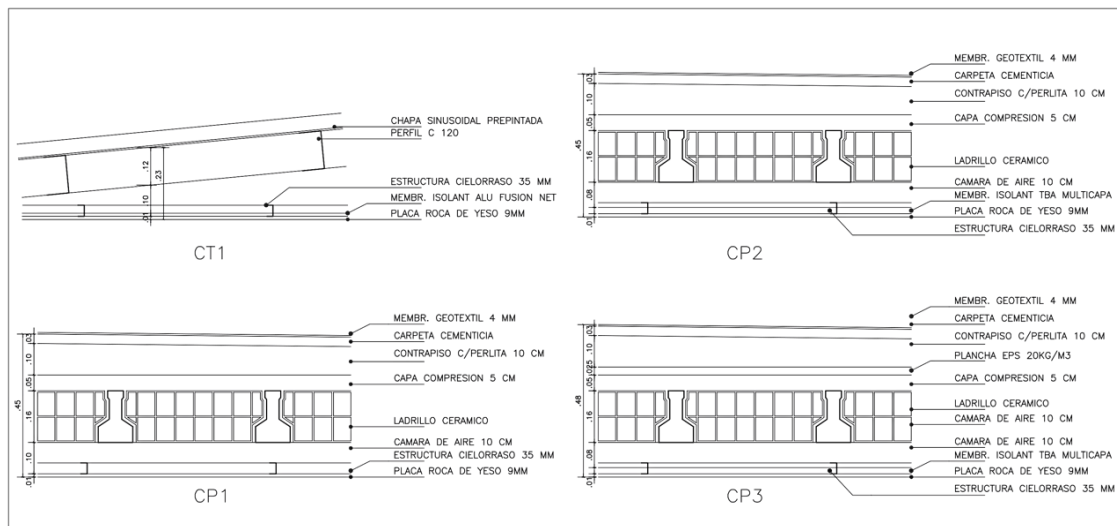
Fuente: Elaboración de los autores

Para la resolución de cubiertas se consideró como punto de partida una solución arquitectónica de cubierta utilizada habitualmente en la localidad (cubierta tradicional CT1): Chapa de zinc sinusoidal con estructura metálica, cámara de aire con cielorraso de placa de roca de yeso con junta tomada sujeta por una estructura metálica y una aislación interior constituida por una membrana tipo Isolant Alu Fusión Net.

La solución constructiva propuesta para cubierta (CP1) está compuesta de interior a exterior por un cielorraso de placas de roca de yeso con junta tomada y perfilería metálica de sujeción, que deja una cámara de aire de 10cm por debajo de la losa. La losa es de alivianada de viguetas, con ladrillos cerámicos para losa de 16 cm, sobre la que se hace una capa de compresión de H°A° de 5

cm de espesor. La cubierta se compone de un contrapiso con pendiente alivianada con cascotes, de altura promedio 10 cm, una carpeta de nivelación de 3 cm sobre la que se coloca una membrana geotextil aluminizada de 4mm.

Figura 5: Detalles constructivos de cubiertas: existente en la localidad y propuestos en el proyecto



Fuente: Elaboración de los autores

Además, se elaboraron dos alternativas de optimización para mejorar su eficiencia: en la cubierta propuesta CP2 se agregó una membrana aislante Isolant TBA Multicapa, y en la cubierta propuesta CP3, además, se colocó una placa de EPS de 20 kg/ m3. Las 4 soluciones constructivas de cubiertas se pueden ver en la Figura 5.

La Tabla 5 resume los resultados del análisis y comportamiento de muros exteriores.

Tabla 5: Resultados del análisis y comportamiento de muros exteriores

	Régimen ESTACIONARIO				Régimen TRANSITORIO				
	Espesor (e) (m)	Transm. (K) (W/m2°K)	Resist. R (m2/W°K)	IRAM 11630 (verifica)	Amortig. (fd) [-]	Retardo (φ) (horas)	Tran.TP (Yie) [W/m2K]	Cap. Ter K1 [kJ/m2K]	ISO 13786 (etiqueta)
Muro T1	0.240	2.290	0.435	No Verif.	0.440	7.16	1.02	76.50	Suficiente
Muro T2	0.230	2.360	0.424	No Verif.	0.47	6.84	1.11	76.40	Suficiente
Muro P1	0.39	0.657	1.523	Nivel B	0.09	14.35	0.06	69.20	Óptimo
Muro P2	0.32	1.039	0.962	Nivel C	0.15	9.72	0.16	62.90	Medio

Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados muestran valores similares en lo que respecta a muros tradicionales. El K del muro T1 es de 2.29 W/m²°K y el del muro T2 es de 2.36 W/m²°K. Ninguno de los sistemas verifica nivel mínimo ni para invierno ni para verano, ya que el nivel de aislación térmica de los muros es insuficiente para la localidad de San Antonio de los Cobres. En el análisis en régimen transitorio se puede ver que ambos presentan un amortiguamiento similar (Fd =0.45 aprox.), un retardo de 7.16 horas (muro ladrillo hueco portante) y 6.84 horas (muro adobe). Esto les otorga la etiqueta “suficiente”.

Con respecto a las alternativas propuestas, el K del muro propuesto P1 es de 0.65 W/m²°K, lo cual hace que verifique nivel recomendado (B). Además, presenta un valor de amortiguamiento mínimo (Fd= 0.09) y un retardo térmico de 14 horas, lo cual es muy beneficioso en climas con amplitud térmica diaria, ya que amortigua el salto térmico durante la noche, cuando la temperatura desciende a niveles muy bajos. El valor de K1 es de 69.20 kJ/m²K, lo cual es consecuencia de la masa colocada en las últimas capas internas de la envolvente. El resultado se considera muy bueno, ya que cuanto mayor sea el valor de K1 mayor será la acumulación térmica.

El muro propuesto acumulador P2 presenta un K de 1.039 W/m²°K. Esto se debe a que se reemplaza el aislante térmico por la piedra negra y la cámara de aire ubicadas por detrás de la abertura DVH. Aun así, el valor de transmitancia se verifica a nivel mínimo (C). El valor de amortiguamiento es algo mayor al muro propuesto P1 (Fd= 0.15) y el retardo térmico es de 9.7 horas.

La Tabla 6 resume los resultados del análisis y comportamiento de cubiertas.

Tabla 6: Resultados del análisis y comportamiento de muros exteriores

	Régimen ESTACIONARIO				Régimen TRANSITORIO				
	Espesor (e) (m)	Transm. (K) (W/m ² °K)	Resist. R (m ² /W°K)	IRAM 11630 (verifica)	Amortig. (fd) [-]	Retardo (φ) (horas)	Tran.TP (Yie) [W/m ² K]	Cap. Ter K1 [kJ/m ² K]	ISO 13786 (etiqueta)
CT1	0.100	1.500	0.660	No verif.	0.99	0.65	1.48	11.40	Mediocre
CP1	0.450	1.120	0.891	No verif.	0.160	11.77	0.18	32.00	Bueno
CP2	0.45	0.73	1.240	Nivel C	0.26	9.66	0.19	21.50	Medio
CP3	0.48	0.48	2.084	Nivel B	0.06	11.64	0.03	19.60	Bueno

Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados muestran que la cubierta tradicional no verifica ni al análisis de régimen estacionario ni al de régimen transitorio. Esto ocurre debido a que no posee un material que aporte aislación térmica y, al ser liviana, no posee

materiales con masa suficiente para acumular calor. El índice de transmitancia térmica K de la cubierta es de $1.50 \text{ W/m}^2\text{K}$ por lo tanto no verifica nivel mínimo ni para invierno ni para verano. Con respecto al análisis en régimen transitorio, el amortiguamiento es alto ($F_d=0.99$) y el retardo mínimo, no llega a una hora, lo que indica que el calor pasa con rapidez a través de la envolvente. La capacidad térmica del lado interno es baja (11.40) lo que indica poca capacidad de acumular calor.

En cuanto a las alternativas de cubiertas propuestas, el índice de transmitancia térmica K de la cubierta propuesta CP1 es de $1.120 \text{ W/m}^2\text{K}$, lo cual hace que no verifique nivel mínimo para la localidad de San Antonio, ni para invierno ni para verano. No obstante, presenta un valor de amortiguamiento $F_d= 0.160$ y un retardo térmico de $11,77$ horas, siendo estos buenos para el régimen transitorio.

Para el caso de la cubierta propuesta CP2, el K es de $0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$, por lo tanto, verifica el nivel mínimo (C) para la localidad de San Antonio de los Cobres tanto para invierno como para verano. Los valores de amortiguamiento $F_d= 0.66$ y retardo térmico de $9,66$ horas hacen que esta alternativa tenga un nivel medio en régimen transitorio.

Finalmente, para la cubierta propuesta CP3 se obtiene como resultado un K de $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ que verifica el nivel recomendado (B) para la localidad de San Antonio de los Cobres. El valor de amortiguamiento es bajo ($F_d= 0.06$) y presenta un retardo térmico de $11,64$ horas, lo cual indica un buen comportamiento con respecto a la inercia térmica y conservación de calor, lo que confiere un nivel bueno en régimen transitorio.

Conclusiones

El trabajo plantea, en cinco etapas, un proceso de diseño de edificios destinado a la vivienda social que puede ser considerado como guía metodológica de diseño bioclimático tanto para profesionales como para agentes gubernamentales, en donde las condiciones del clima y los recursos energéticos a utilizarse durante la etapa de operación de las viviendas son escasos y de alto costo. Se plantea como un ordenamiento conceptual de pasos y validaciones que no necesariamente tiene un orden lineal.

Estas etapas están organizadas en dos categorías ordenadas y complementarias: La primera categoría *analítica*, parte de las observaciones de campo y los análisis de antecedentes y datos del contexto. Una segunda categoría denominada *propositiva*, toma estos análisis y antecedentes para

formular un proyecto que considera las variables bioclimáticas y las recomendaciones de normas y procedimientos.

En la categoría *analítica*, la Etapa 1 considera el análisis de características climáticas de la localización del proyecto de estudio. La Etapa 2 propone el relevamiento de antecedentes y tipos de proyectos similares de la región o localidad para tomar como parámetro de estudio. La etapa 3 plantea las estrategias de diseño bioclimático basadas en Normas y softwares específicos que pueden tenerse en cuenta durante el proceso de proyecto y verificación de decisiones. Para la categoría *propositiva*, la Etapa 4 consolida las actividades proyectuales integrando las etapas 1 a 3 durante el proceso de diseño. La Etapa 5 verifica las decisiones adoptadas. En este trabajo se muestran solo dos parámetros: análisis preliminar de penetración y obstrucción solar de las aberturas y análisis de envolventes adoptadas. Se podrían agregar a estos parámetros: requerimientos de calefacción y refrigeración, estudio de la iluminación natural, entre otros. Los resultados de las verificaciones muestran un mejoramiento del desempeño de aberturas en cuanto al ingreso solar, y una optimización de las envolventes con respecto a su calidad de aislación y conservación del calor.

Por lo tanto, es posible obtener condiciones de confort interior aceptables para los usuarios de viviendas sociales basadas en estándares y normativas nacionales. Esto se logra vinculando las decisiones proyectuales sobre la orientación, forma de los edificios y la adopción de sistemas constructivos con las condiciones climáticas y geográficas del emplazamiento del proyecto.

Bibliografía

Blasco Lucas, I. (2013). Tesis doctoral: Arquitectura sustentable en Hábitat rural de Zonas árido-sísmicas. Mendoza: Universidad de Mendoza - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño.

Bustamante, W., Rozas, Y., Cepeda, R., Encina, F., & Martínez, P. (2009). Guía de diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Santiago de Chile: Grafica Copy Center Ltda.

Czajkowski, J. y Gómez, A. (2014) Programa de especialización y Maestría en Arquitectura y Hábitat sustentable. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA). Vol. 2 pp 10.01-10.07, 2014. Salta

EN ISO 13786 (2007) *Thermal Performance of building components. Dynamic thermal characteristics. Calculation methods*. Bruselas: CEN European Committee for Standardization.

Esteves, A. (2017). *Arquitectura bioclimática y sustentable. Teoría y práctica de la conservación de la energía, sistemas solares pasivos y enfriamiento natural de los edificios*. Mendoza.

Givoni, B. (1969). *Man, Climate and Architecture*. (H. Cowan, Ed.) Sydney: Elsevier Architectural Science Series.

Gonzalo, G. (2015). *Manual de Arquitectura Bioclimática*. (5° ed.). Buenos Aires: Ed. Nobuko.

IRAM 11601. (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11603. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11604. (2001). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de Energía en Calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites, Segunda Edición*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11605. (1996). *Aislamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11659-1. (2004). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración Parte 1: Vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica en refrigeración*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11659-2. (2005). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Viviendas*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Mazria, E. (1983). *El libro de la energía solar pasiva*. México: Gustavo Gili.

MMAPTM. (2002). *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*. Ministero de Medio Ambiente y Protección del Territorio y Mar.

Müller, E. (2002). *Manual de diseño para viviendas con climatización pasiva*. Alemania: Forschungslabor für Experimentelles Bauen FEB - Universidad de Kassel, Alemania.

Olgay, V. (2002). *Arquitectura y Clima: Manual de arquitectura bioclimática para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gilli.

Paoli, H. (2003). *Aprovechamiento de los recursos hídricos y tecnología de riego en el altiplano argentino*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Sarmiento Barbieri, N.; Belmonte, S.; Dellicompagni, P.; Franco, J.; Escalante, K. (2017). *Atlas de Radiación Solar de la Provincia de Salta. Sistema de Información Geográfico Digital*. Grupo: Planificación Energética y Gestión Territorial. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional. CONICET- UNSa. Salta. Argentina. Recuperado el 11/07/2022 de: <http://sisol.salta.gob.ar/>

Szokolay, S. (1989). *PLEA Principles Beyond Individual Building*. PLEA 1989- Proceedings of International Conference PLEA. Nara.

UNI EN ISO 13790. (2005). *Prestazione termica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento*. Milán: UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione.