

Herramientas para el acondicionamiento térmico de edificios en Tucumán

Arq. Amalita Fernández- Dra. Arq. Beatriz Garzón



Grupo Hábitat Sustentable y Saludable



Facultad de Arquitectura y
Urbanismo



Universidad Nacional
de Tucumán



Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y
Técnicas

Fernandez, Amalita

Herramientas para el acondicionamiento térmico de edificios en Tucumán / Amalita Fernandez ; Beatriz Silvia Garzón ; coordinación general de Beatriz Silvia Garzón. - 1a edición especial - San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2020.

60 p.; 21 x 29 cm.

ISBN 978-987-754-238-7

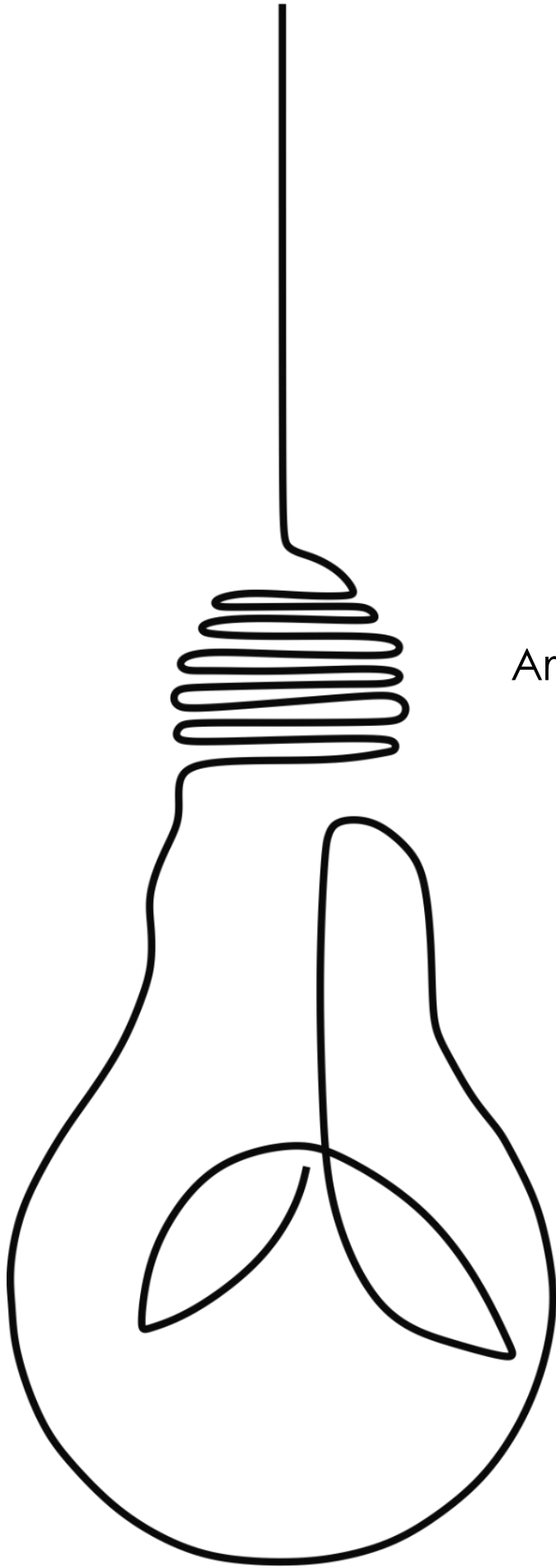
1. Arquitectura. 2. Ambiente. 3. Aislamiento Térmico. I. Garzón, Beatriz Silvia. II. Título. CDD 720.4

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Tucumán, a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo **FAU** y al Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas **CONICET**, por su apoyo a la labor desarrollada.

Índice de contenido

Intro Arquitectura bioclimática	7
1 Clasificación bioambiental de la provincia de Tucumán	11
2 Obtención de datos climáticos a partir de fuentes locales	19
3 Cartas bioclimáticas	25
4 Diseño de protecciones solares	31
5 Aislación térmica	37
6 Coeficiente volumétrico de calefacción	45
Coeficiente volumétrico de refrigeración.....	51
Anexos	59
Bibliografía.....	67



Intro

Arquitectura bioclimática

Arquitectura Bioclimática

Considerando que la Arquitectura es un trabajo social es necesario resaltar su propensión al bioclimatismo, ya que sus principios van dirigidos a:

- El mejoramiento de la calidad de vida de sus usuarios desde el punto de vista del confort higrotérmico.
- La integración del objeto arquitectónico a su contexto.
- La reducción de la demanda de energía convencional.

La **arquitectura bioclimática** puede definirse como aquella que se centra en el diseño y construcción de edificios teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la región en donde se emplaza; y, se enfoca en el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles como ser la energía del sol, la vegetación, las lluvias y los vientos, entre otros, para disminuir, en la medida de lo posible, el impacto ambiental generado por la construcción y el consumo de energía. Consiste en la aplicación de estrategias pasivas de diseño, es decir aquellas que no generan consumo energético y reducen la demanda, entre ellas se puede mencionar a: la orientación, la morfología, los materiales empleados, diseño de abertura y protecciones solares, entre otros.

Cuando se habla de **clima**, se hace referencia a las condiciones meteorológicas de un lugar determinado medidas en un período de tiempo; pero clima también se refiere a las circunstancias que rodean y caracterizan una situación. Por ello cuando diseñamos con criterios bioclimáticos resulta fundamental estudiar el contexto en el cual se sitúa el edificio.

El diseño bioclimático no solo se basa criterios de sustentabilidad ambiental, sino que busca generar una buena calidad en el ambiente interior construido. Aquí reviste especial importancia el **confort** desde todos los puntos de vista posibles, acústico, visual, térmico, como así también el control de los gases nocivos que pueden emitirse y acumularse en el interior.

El presente libro se sustenta sobre conceptos de la arquitectura bioclimática desde el punto de vista **térmico-energético**: lograr buenos estándares de confort térmico con el mínimo uso de energía. Se exponen de manera simplificada metodologías de cálculo basadas en las normativas vigentes. Y, se presentan herramientas sencillas y su uso “paso a paso” para el abordaje de alternativas de diseño de edificios con acondicionamiento térmico natural para la provincia de Tucumán, Argentina.

1

Clasificación bioambiental de la provincia de Tucumán



Clasificación bioambiental de la provincia de Tucumán

En esta sección se expone la zonificación de la República Argentina de acuerdo con un criterio bioambiental. Se describen las zonas que corresponden a la provincia de Tucumán y se indican, en cada caso, las pautas generales para el diseño y la evaluación de las orientaciones favorables.

La República Argentina, se encuentra zonificada por IRAM con un criterio bioambiental, quedando definidas seis zonas (I: Muy cálida, II: Cálida, III: Templada cálida, IV: Templada fría, V: Fría y VI: Muy fría) con tres subzonas para algunos casos (a, b, c y d).

Las zonas bioambientales se definen de acuerdo con el mapa de la figura 1. Esta clasificación se ha desarrollado teniendo en cuenta los índices de confort de la temperatura efectiva corregida (TEC), correlacionada con el voto medio predecible (VMP) y el índice de Beldin y Hatch (IBH), desarrollados para las zonas cálidas. La evaluación de las zonas frías no se ha realizado con los índices de confort, sino con los grados días para las necesidades de calefacción.

Las distintas provincias del país se encuentran atravesadas por diferentes zonas bioambientales. En la Tabla 1 se exponen las zonas que atraviesan las distintas provincias de la República.



Figura 1.1. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Fuente IRAM.

Zona	Subzona	Provincias
I	Ia	Catamarca, Chaco, Formosa, La Rioja, Salta, Santa Fe, Santiago del Estero
	Ib	Corrientes, Chaco, Formosa, Misiones, Santa Fe
II	IIa	Catamarca, Córdoba, La Rioja, Salta, San Juan, San Luis, Santa Fe, Santiago del Estero, Tucumán.
	IIb	Corrientes, Entre Ríos, Jujuy, Salta, Santa Fe, Santiago del Estero, Tucumán
III	IIIa	Buenos Aires, Catamarca, Córdoba, La Pampa, La Rioja, Mendoza, Salta, San Juan, San Luis, Santa Fe, Tucumán.
	IIIb	Buenos Aires, Ciudad de Buenos Aires, Entre Ríos, Jujuy, Salta
IV	IVa	Catamarca, Jujuy, La Rioja, Mendoza, Salta, San Juan
	IVb	La Pampa, Mendoza, Neuquén, San Luis
	IVc	Buenos Aires, Chubut, La Pampa, Neuquén, Río Negro
	IVd	Buenos Aires
V	-	Catamarca, Chubut, La Rioja, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Salta, San Juan, Santa Cruz
VI	-	Catamarca, Chubut, Jujuy, La Rioja, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Salta, San Juan, Santa Cruz, Tierra del Fuego

Tabla 1.1. Competencia jurisdiccional de las zonas bioambientales en el país. Fuente: elaboración propia.

La provincia de Tucumán abarca dos zonas bioambientales : II y III; y dos subzonas : a y b. La Tabla 2 expresa la competencia jurisdiccional de dichas zonas en la provincia.

Zona	Subzona	Departamento
II	a	Chicligasta, Graneros, Juan B. Alberdi, La Cocha, Monteros, Río Chico, Simoca
	b	Burruyacú, Capital, Cruz Alta, Famaillá, Leales, Lules, Tafí Viejo, Trancas, Yerba Buena
III	a	Tafí del Valle

Tabla 1.2. Competencia jurisdiccional de las zonas bioambientales en la provincia de Tucumán. Fuente: elaboración propia.

Zona II: cálida

Limitada entre las isolíneas de TEC 26,3 °C y 24,6 °C, comprende el conjunto de dos angostas fajas del territorio, una de extensión Este-Oeste centrada alrededor del paralelo 30° y otro, de extensión Norte-Sur recortada sobre la falda oriental de la Cordillera de los Andes. En esta zona, es el verano la estación crítica, con valores de temperatura media mayores que 24 °C y temperatura máxima mayor que 30 °C. Las mayores amplitudes térmicas ocurren en esta época del año, con valores de 16 °C como máximo. Las presiones parciales de vapor de agua más altas se dan también en el período de verano, con valores medios menores que 2 135 Pa (16 mm Hg),

en la subzona b. El invierno es más seco, con bajas amplitudes térmicas y temperaturas medias comprendidas entre 8 °C y 12 °C. Esta zona se subdivide en 2 subzonas a y b, en función de las amplitudes térmicas:

- Subzona IIa: amplitudes térmicas mayores que 14 °C.
- Subzona IIb: amplitudes térmicas menores que 14 °C.

Zona III: templado cálido

Limitada por las isolíneas de TEC 24,6 °C y 22,9 °C, esta zona tiene igual distribución que la zona II, con la faja de extensión Este-Oeste centrada alrededor del paralelo 35° y la de extensión Norte-Sur, ubicada en las primeras estribaciones montañosas al Nordeste del país, sobre la Cordillera de los Andes.

Los veranos son relativamente calurosos y presentan temperaturas medias comprendidas entre 20 °C y 26 °C, con máximas medias mayores que 30°C, sólo en la faja de extensión Este-Oeste. El invierno no es muy frío y presenta valores medios de temperatura comprendidos entre 8°C y 12°C, y valores mínimos que rara vez son menores que 0 °C.

En general, en esta zona se tienen inviernos relativamente benignos, con veranos no muy calurosos. Esta zona se subdivide en dos subzonas: a y b, en función de las amplitudes térmicas.

- Subzona IIIa: amplitudes térmicas mayores que 14 °C.
- Subzona IIIb: amplitudes térmicas menores que 14 °C.

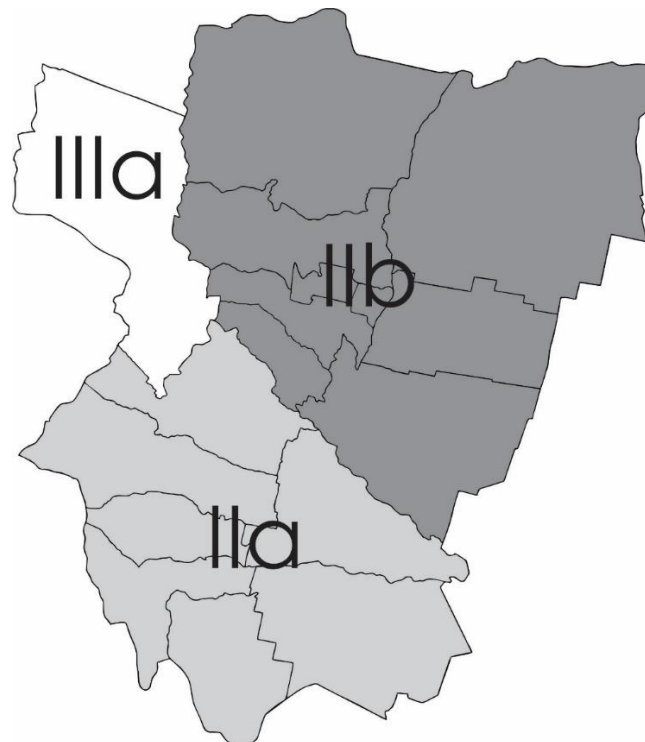


Figura 1.2. Clasificación bioambiental de la provincia de Tucumán. Fuente: elaboración propia.

Recomendaciones generales sobre diseño

Se recomienda respetar los siguientes principios básicos de manera prioritaria:

- a) tomar los recaudos necesarios para evitar condensación en la zona del litoral marítimo y fluvial teniendo en cuenta que tiene un alto tenor de humedad relativa;
- b) respetar las orientaciones dadas (figura 3 y 4).

Zona II: cálida Se recomienda:

- a) colores claros en paredes exteriores y techos;
- b) gran aislación térmica en los techos y en las paredes orientadas al este y al oeste;
- c) el eje mayor de la vivienda, preferentemente, orientado al Este-Oeste.
- d) proteger las superficies de la incidencia de la radiación solar. Para las ventanas, si es posible, no orientarlas al Este o al Oeste, y minimizar su superficie.
- e) un diseño que permita la ventilación cruzada de la vivienda, dada la influencia benéfica del movimiento sensible del aire, para disminuir la falta de confort higrotérmico, es por ello que se recomienda contemplar la necesidad de aprovechar los vientos dominantes y la creación de zonas de alta y baja presión que aumenten la circulación de aire.
- f) si bien en esta zona, el invierno reviste limitada importancia, se deja a criterio del proyectista las condiciones de diseño que se deben adoptar.

Orientaciones: Son favorables la orientación Norte y Sur, siendo favorables las orientaciones de bajo asoleamiento, dada la característica cálida de la zona. La alta penetración solar en las orientaciones Este y Oeste, las hacen desfavorables, pues la contribución calórica de la radiación solar sólo agrava la situación de inconfort.

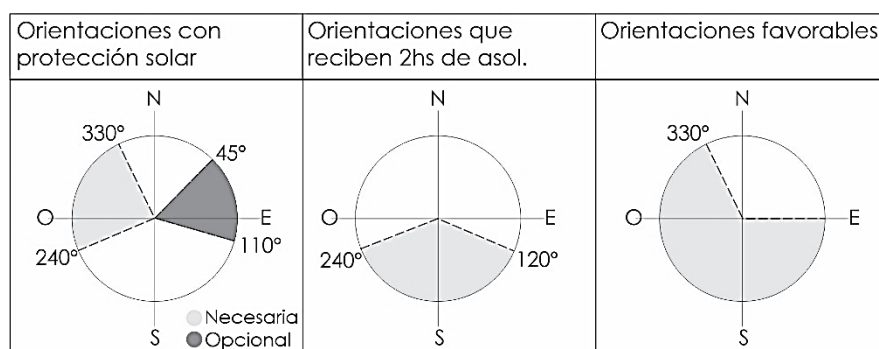


Figura 1.3. Orientaciones para zona bioambiental II. Fuente: elaboración propia.

Zona III: templado-cálido, se recomienda:

Subzona IIIa se caracteriza por grandes amplitudes térmicas, por lo que es aconsejable el uso de viviendas agrupadas y de todos los elementos y/o recursos que tiendan al mejoramiento de la inercia térmica. Tanto en la faz de la orientación

como en las necesidades de ventilación, por tratarse de una zona templada, las exigencias pueden ser menores.

a) En las edificaciones orientadas al oeste es aconsejable prever protecciones solares adecuadas.

b) Se recomienda que las aberturas estén provistas de sistemas de protección a la radiación solar. Los colores claros exteriores son altamente recomendables.

Orientaciones: La orientación óptima es la NO-N-NE-E.

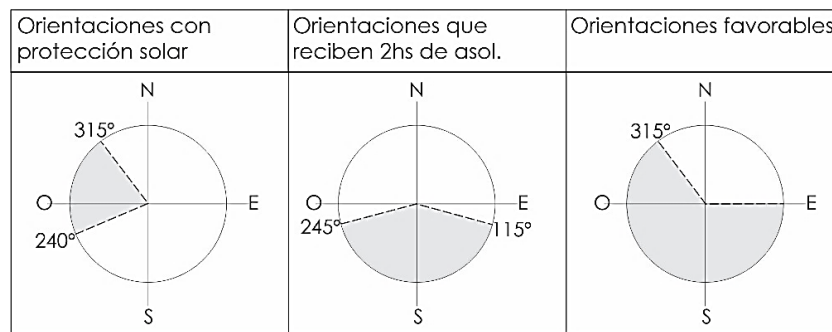
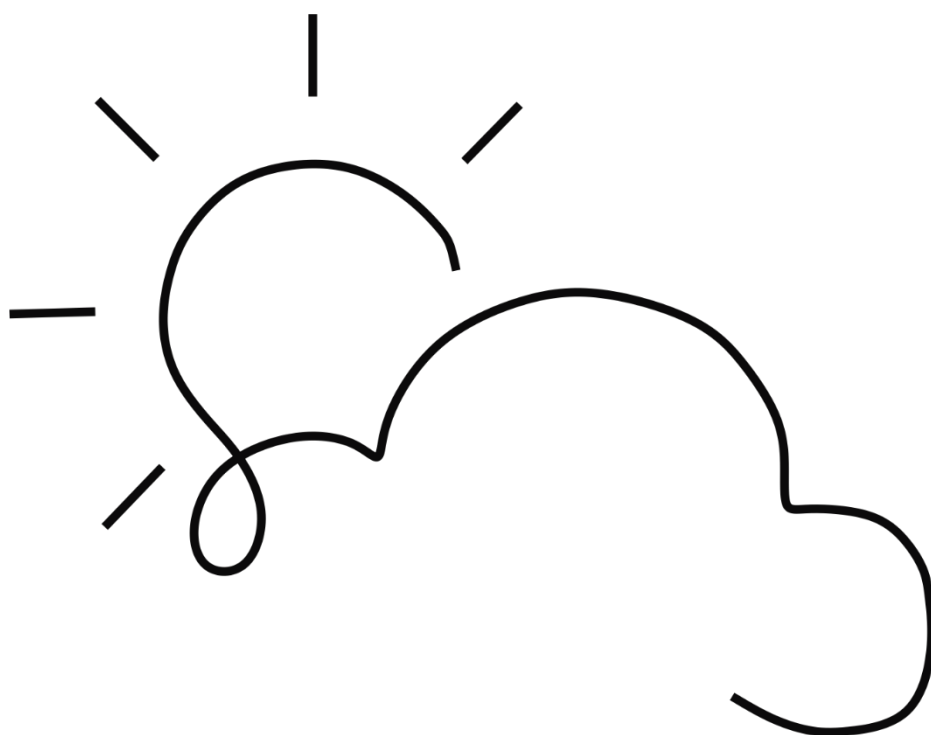


Figura 1.4. Orientaciones para zona bioambiental III. Fuente: elaboración propia.

Las recomendaciones de diseño expresadas en IRAM y mencionadas en este capítulo son una herramienta útil para el diseño bioclimático, pero son muy generales y no resultan suficientes para abordar un diseño bioclimático, es necesario conocer los datos meteorológicos locales.

2

Obtención de datos climáticos a partir de fuentes locales



Obtención de datos climáticos a partir de fuentes locales

Para abordar un diseño bioclimático para Tucumán, es necesario conocer los datos meteorológicos de la provincia. En los archivos anexos, al final del libro, se encuentran procesados los datos climáticos de la ciudad de San Miguel de Tucumán.

El clima de Tucumán se considera subtropical con estación seca. Presenta variedades de temperatura debido al relieve de su superficie, desde calurosas a templadas en función de su altitud.

Afortunadamente, la provincia de Tucumán cuenta con estaciones meteorológicas pertenecientes a la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), en todo su territorio (Figura 2.1). Los datos brindados por las mismas son de libre acceso.

Para obtener la información se debe ingresar al sitio web de la EEAOC (<http://www.eeaoc.org.ar/agromet/index.php>) y seguir los siguientes pasos:

Primero:

En la página principal seleccionar la opción: “Datos meteorológicos por localidad” (Figura 2.2)

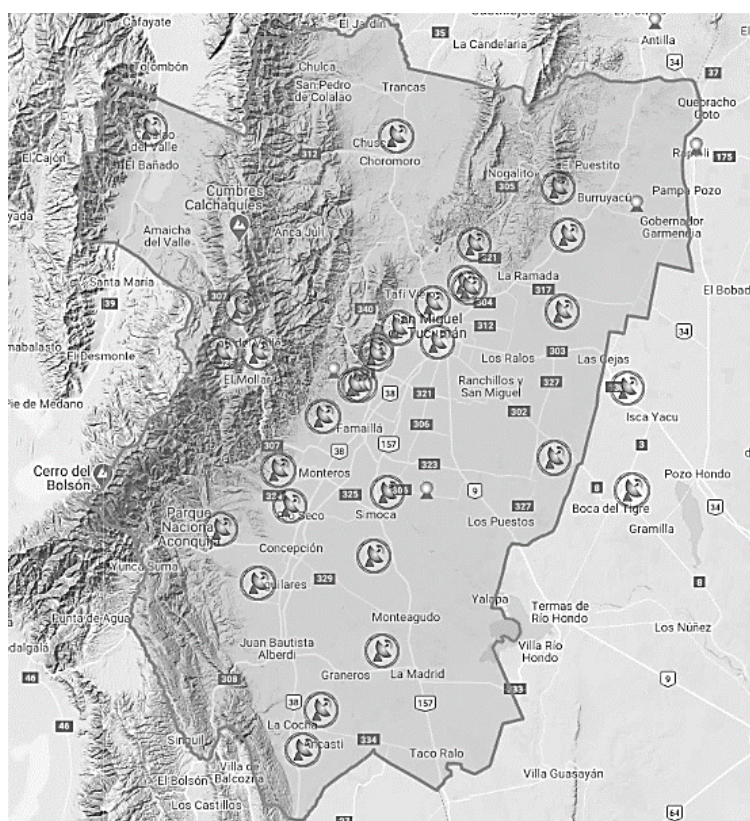


Figura 2.1 Estaciones meteorológicas en la Provincia de Tucumán. Fuente EEAOC.

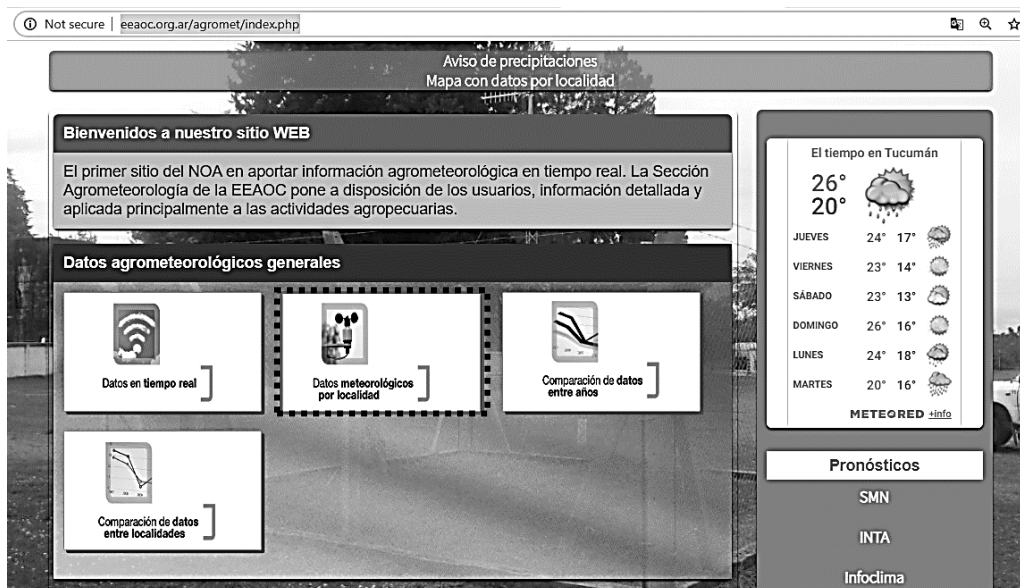


Figura 2.2 Página principal sitio web EEAOC. Fuente: EEAOC

Segundo:

Se abre la sección "Datos históricos por localidad", para lo cual se debe seleccionar estación meteorológica y período de tiempo.

En cuanto a la estación meteorológica, se debe elegir la más próxima a la localidad de estudio, este dato se conoce a partir del mapa de estaciones meteorológicas (Figura 2.1) el cuál puede obtenerse de manera gratuita en la web.

En cuanto a período de tiempo, se deben tomar los últimos 10 años, este es el período necesario para conocer el clima en una región. Si la estación consultada no cuenta con esa antigüedad, se toman la mayor cantidad de años disponibles.

Figura 2.3. Ejemplo de obtención de datos para un período de diez años, estación El Colmenar. Fuente: elaboración propia a partir de EEAOC.

Los datos de principal interés para efectuar un diseño bioclimático son:

Temperatura del aire (°C): máxima media, media y mínima media (mes a mes); máxima y mínima absoluta (para el período completo). La página web muestra, por un lado, los valores promedios y la posibilidad de abrir una tabla con los datos día por día que podrán ser sistematizados con cualquier software sencillo de cálculo.

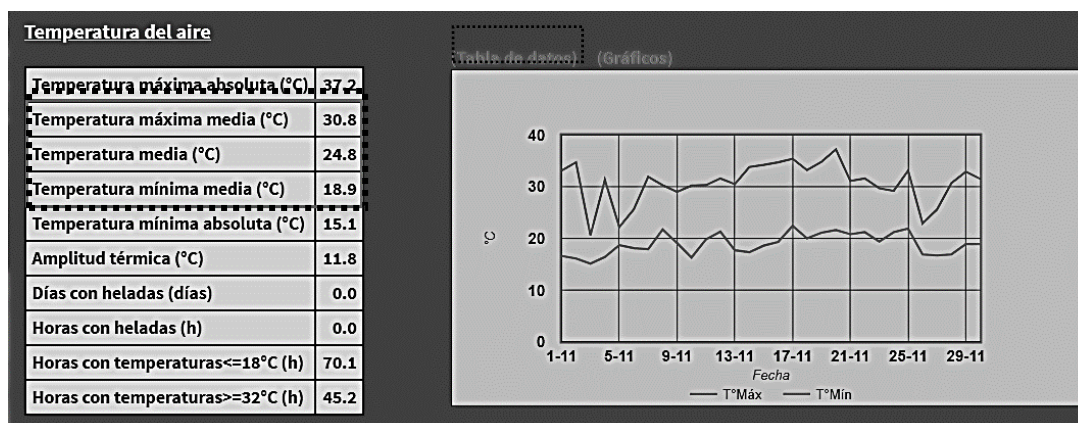


Figura 2.4. Obtención de datos de temperatura del aire a partir de EEAOC. Fuente: Elaboración propia.

Humedad relativa (%): máxima media, media y mínima media (mes a mes).

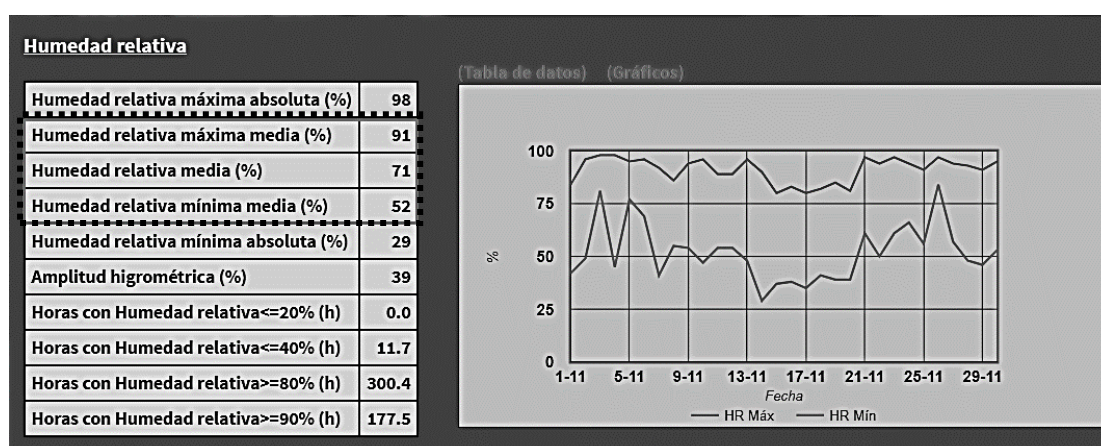


Figura 2.5. Obtención de datos de humedad a partir de EEAOC. Fuente: Elaboración propia

Dirección del viento (1/1000): al menos ocho orientaciones (N, NE, E, SE, S, SO, O y NO) este dato se brinda a partir de una tabla, se recomienda elaborar un gráfico radial, para una comprensión gráfica.

A partir de esos datos, se pueden elaborar las cartas bioclimáticas (Capítulo 3) y diseñar la disposición de las aberturas.

El resto de los datos disponibles, precipitaciones, velocidad del viento, radiación solar global, sirven para comprender el clima local y para efectuar cálculos más complejos.

Dirección del viento (1/1000)

N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALMA
63	45	23	29	66	37	45	38	77	135	150	77	27	16	16	44	110

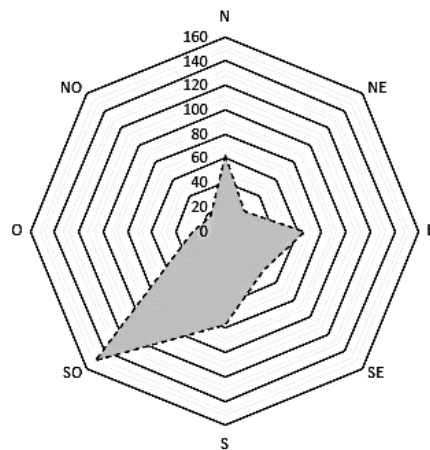
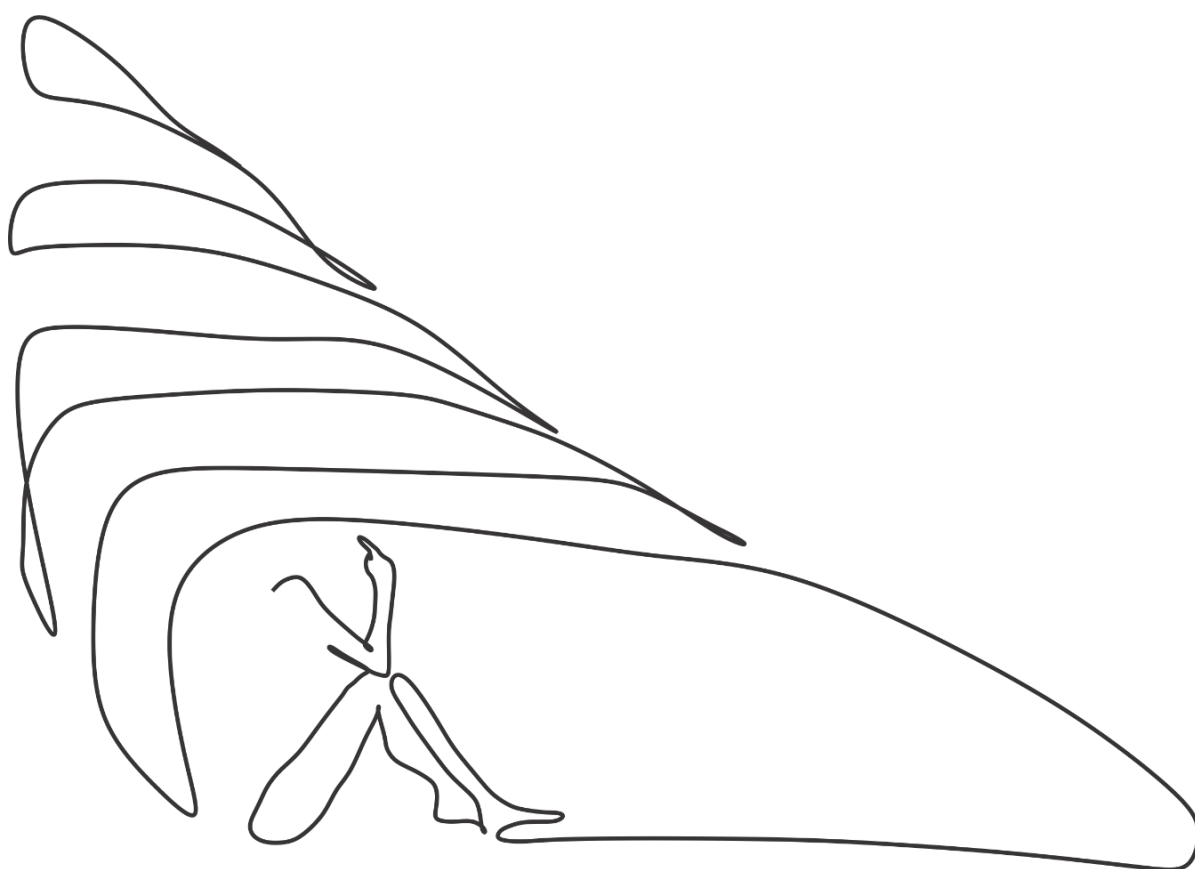


Figura 2.6. Elaboración de gráfico radial a partir de la tabla de dirección del viento obtenida de EEAO. Fuente: elaboración propia.

3

Cartas bioclimáticas



Cartas bioclimáticas

El diseño bioclimático es una herramienta para alcanzar niveles de confort térmico que tiene su origen en el estudio de la relación del hombre con el clima. A modo de instrumento para llevar a cabo un diseño bioclimático, se desarrollaron cartas bioclimáticas, que son utilizadas para determinar las estrategias de diseño de espacios exteriores e interiores con el objetivo de alcanzar el confort térmico. Estas cartas permiten vincular las condiciones climáticas del lugar con las estrategias pasivas y/o activas que se necesitan para lograr las condiciones de confort.

Los diagramas, o cartas bioclimáticas, más usados son el de Olgay y el de Givoni, por ser estos aplicables de forma directa a los edificios y su entorno, de modo que se obtiene de ellos recomendaciones igualmente directas. El primero cuantifica las correcciones de los parámetros bioclimáticos para la obtención del confort humano en condiciones de exterior, sin ningún tipo de relación con el objeto arquitectónico. El segundo cuenta con las incidencias que puede producir la arquitectura en el clima y señala las cualidades que deben tener las edificaciones para conseguir la sensación de confort dentro de los mismos.

Carta bioclimática de Olgay:

El método se basa en una situación muy concreta: persona a la sombra, realizando actividad ligera o en reposo, sin viento y vestida con ropa liviana (1 clo).

Dentro de este diagrama se pueden distinguir:

- Una zona de confort de referencia con una temperatura ambiente entre 22°C y 27°C, y una humedad relativa entre el 20% y el 80%, unos límites que corresponden a una sensación térmica aceptable.
- En el eje de ordenadas se representa la temperatura seca del aire, es decir, la que indica un termómetro de bulbo seco.
- En el eje de abscisas se representa la humedad relativa del aire en porcentaje.

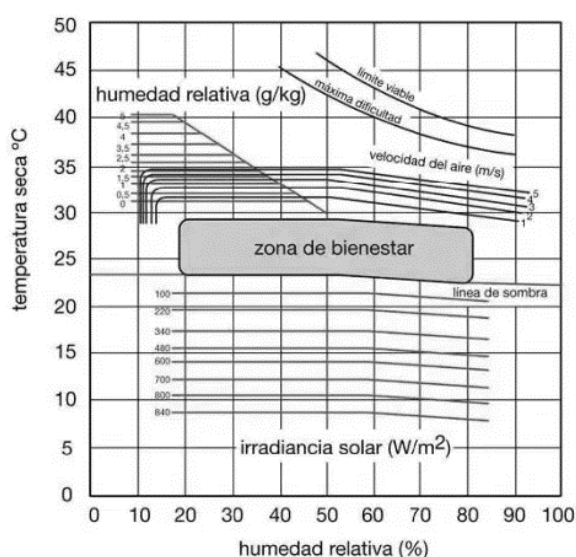


Figura 3.1. Esquema de diagrama bioclimático de Olgay. Fuente: Hernández 2014.

- Se presentan una serie de líneas que representan las medidas que habría que tomar en caso de que las condiciones de temperatura y humedad estén fuera de la zona de confort. Estas líneas son:

- La radiación expresada en Kcal/hora se sitúa en el límite inferior de la zona de confort y con ella se dibuja la línea de sombra o límite a partir del cual el confort se pierde como consecuencia del frío.
- El viento en m/s. se representa por unas líneas crecientes con la temperatura y decrecientes con la humedad.
- La línea de congelación aparece en el borde inferior del gráfico e indica la temperatura mínima soportable antes de que aparezcan problemas de congelación en los miembros.
- La línea de insolación, en la parte superior, indica posibles desmayos por la combinación de altas temperaturas y elevada humedad.
- Los puntos situados por debajo de la zona de confort indican periodos con defecto de calor, por lo que es necesaria la radiación solar para alcanzar la confortabilidad. Los puntos situados por encima indican periodos sobrecalentados y el bienestar requiere del concurso de la ventilación o enfriamiento evaporativo para regresar a la zona de confort. En la utilización del gráfico pueden tomarse temperaturas mensuales, medias o extremas o los valores diarios.

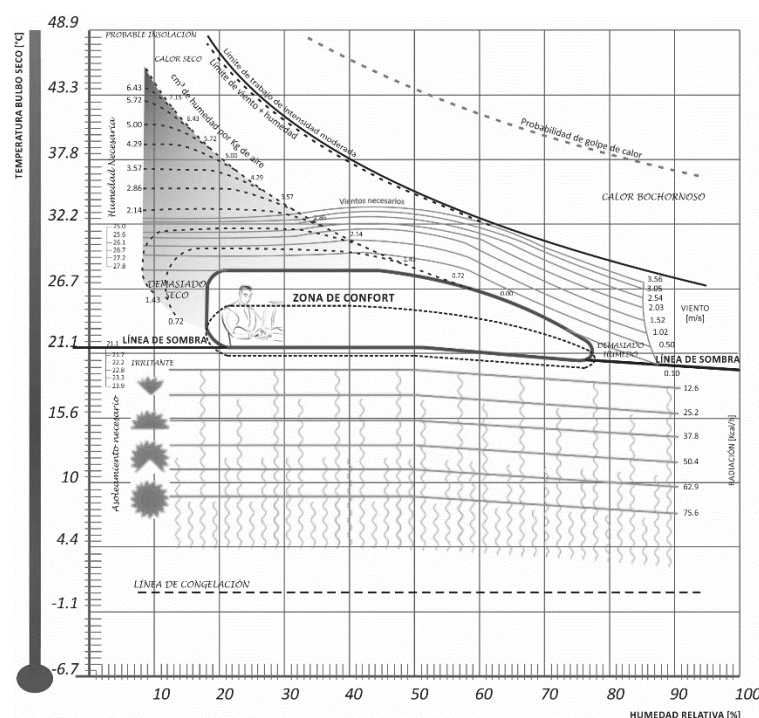


Figura 3.2. Diagrama bioclimático de Olgiay. Fuente: Mendonca

Carta bioclimática de Givoni

Givoni, en su diagrama bioclimático para edificios introduce como variable el efecto de la propia edificación sobre el ambiente interno, el edificio se interpone entre las condiciones exteriores e interiores y el objetivo fundamental de la carta bioclimática consiste en utilizar unos materiales y una estructura constructiva, cuya respuesta ante

unas determinadas condiciones exteriores permita crear un ambiente interior comprendido dentro de la zona de bienestar térmico.

El diagrama de Givoni es una carta que permite determinar la estrategia bioclimática a adoptar en función de las condiciones higrotérmicas del edificio en una determinada época del año. En el diagrama se distinguen unas zonas asociadas a sus respectivas técnicas bioclimáticas que permiten alcanzar la zona de confort.

La carta se construye sobre un diagrama psicrométrico y en ella se distinguen una serie de zonas características:

- Una zona de confort térmico delimitada a partir de la temperatura del termómetro seco y la humedad relativa, sin tener en cuenta otros factores.
- a. Hacia la derecha la zona de confort se puede ampliar en función de la masa térmica del edificio, representada por los tipos de materiales de la construcción; el enfriamiento evaporativo, que se produce cuando una corriente de aire seco y cálido pasa sobre una superficie de agua, parte de la cual se evapora produciendo un doble efecto positivo: descenso de la temperatura por la energía utilizada en el proceso de evaporación y aumento de la humedad ambiental. Fuera de estos límites y hacia la derecha del gráfico, solo se pueden conseguir las condiciones adecuadas con sistemas mecánicos, que implican un mayor consumo energético, de ventilación y deshumidificación.
- b. Hacia la izquierda del gráfico la zona de confort se extiende siempre que se produzca calentamiento, que puede ser calentamiento pasivo, es decir, utilizando la radiación solar directa, durante el día, o el calor almacenado en acumuladores, durante la noche y calentamiento mecánico, mediante el uso de sistemas convencionales de calefacción.

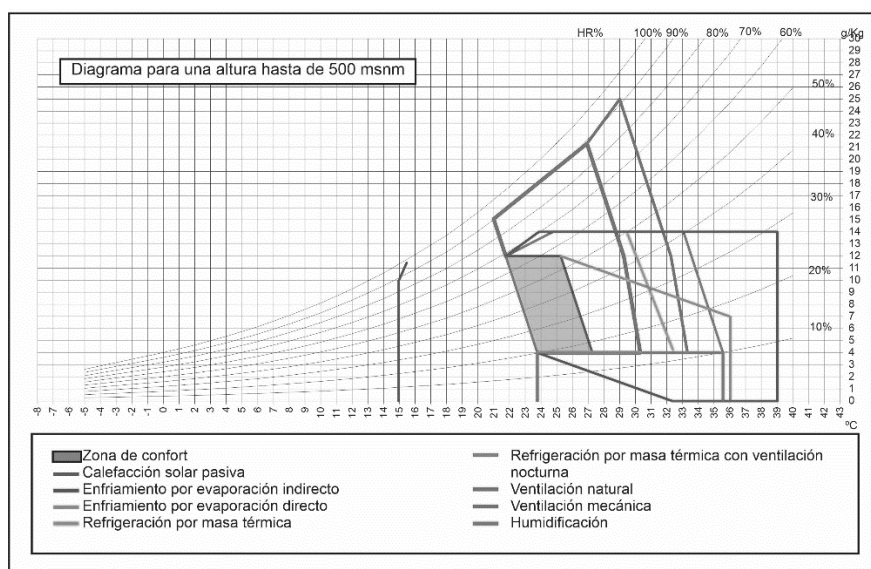


Figura 3.3. Diagrama bioclimático de Givoni. Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento para obtener estrategias bioclimáticas

Para obtener las estrategias bioclimáticas a partir de los diagramas, se deben seguir, para ambos casos, los mismos pasos:

Paso 1

Dibujar, para cada mes, tres puntos los cuales representan:

- Punto 1: Temperatura mínima media y humedad máxima media (para un promedio de 10 años)
- Punto 2: Temperatura media media media y humedad media media (para un promedio de 10 años)
- Punto 3: Temperatura máxima media y humedad mínima media (para un promedio de 10 años) Y unir dichos puntos con segmentos.

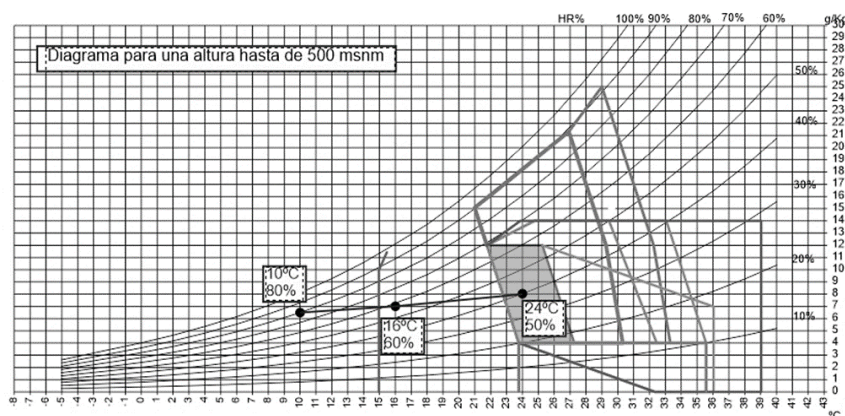


Figura 3.4. Ejemplo de trazado de un segmento para un mes N. Fuente: Elaboración propia.

Paso 2

Medir la longitud de cada segmento (puede ser a través de algún software de dibujo o con regla milimetrada en el gráfico impreso) que cae dentro de una estrategia determinada, como así también aquellos que caigan en la zona de confort. Se sugiere volcar estos valores numéricos en una planilla Excel (Tabla 3.1) para tener una visualización más clara. Por último, se calcula la incidencia porcentual de cada estrategia.

	Zona de confort	Estr. 1	Est. 2	Estr. 3	Estr. 4	Estr. 5	Estr.6	Etc.	Suma total
E									Suma filas
F									
M									
A									
M									
J									
J									
A									
S									
O									
N									
D									
TOTAL	Suma filas								Suma total
Incidencia porcentual									100%

Tabla 3.1. Modelo de planilla para calcular las incidencias. Fuente: elaboración propia.

4

Diseño de protecciones solares



Diseño de protecciones solares- Movimiento aparente del sol

Para poder diseñar correctamente las protecciones solares, es importante comprender la trayectoria aparente del sol (Figura 5.1). Este concepto se refiere al recorrido que describe el sol a través del cielo situando al observador en un punto particular de la superficie terrestre. Esta es una situación teórica que se emplea para estudiar la incidencia de la radiación solar en el planeta.

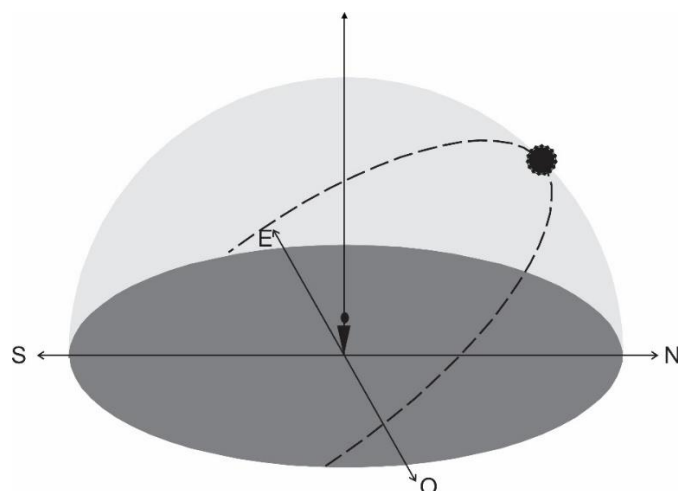


Figura 5.1. Movimiento aparente del sol. Fuente: elaboración propia.

En el hemisferio sur, la trayectoria aparente del sol es en sentido este-oeste con una inclinación hacia el norte. En el solsticio de invierno la salida del sol ocurre en el noreste y la puesta hacia el noreste; para los equinoccios (otoño y primavera) la salida ocurre en el este y la puesta en el oeste; finalmente, para el solsticio de verano la salida del sol es en el sudeste y la puesta sudoeste (Figura 5.2).

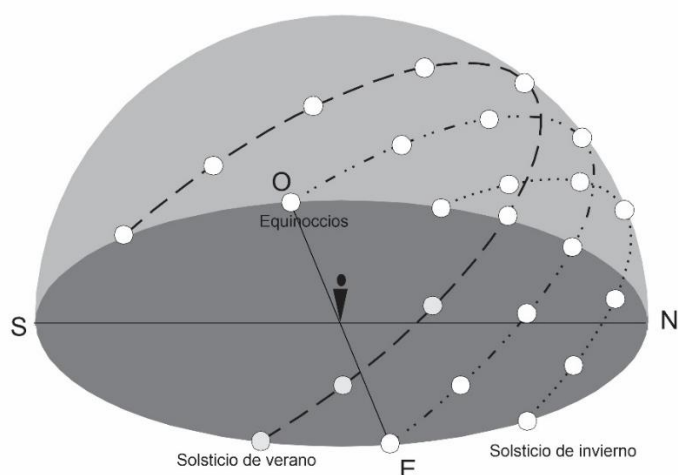


Figura 5.2. Movimiento aparente del sol para las distintas estaciones del año en el hemisferio sur. Fuente: elaboración propia.

Coordenadas solares

A partir de este concepto de trayectoria solar, se interpretan las cartas solares o diagramas de trayectoria solar. Consisten en una representación plana del

movimiento solar desde un punto fijo y para una posición geográfica determinada. El ellos se presentan las coordenadas solares fundamentales para determinar la posición del sol en un momento determinado.

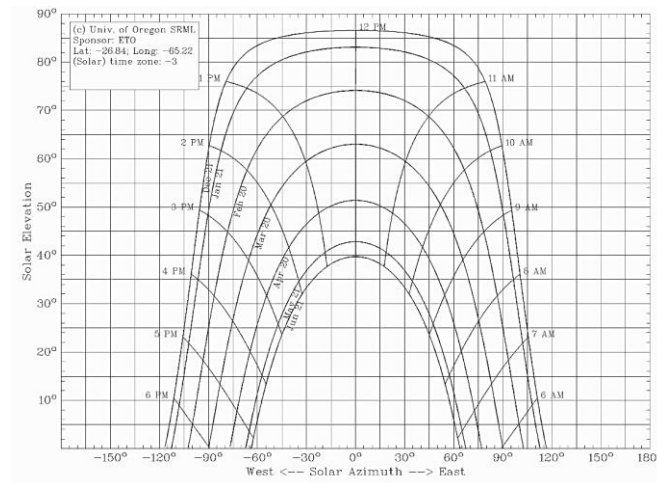


Figura 5.3. Carta solar para San Miguel de Tucumán. Fuente: Universidad de Oregon.

Las coordenadas consideradas en el diagrama son, en el eje vertical la altura solar y en el horizontal el acimut (Figura 5.3).

La altura solar representa el ángulo formado entre la posición del sol en el cielo y el plano horizontal.

El acimut es el ángulo sobre el plano, entre un punto de referencia y la posición del sol. Para el diagrama de trayectoria solar mostrado (Figura 5.4) se toma como punto de partida el norte, 0° , 180° hacia el sur, signo negativo hacia el oeste, signo positivo hacia el este.

En la Figura 5.4 se muestran las coordenadas solares como están indicadas en el diagrama de trayectoria solar. Cabe destacar que, usualmente, se toman los ángulos de acimut a la inversa ($N=180^\circ$, $S=0^\circ$, $E=-90^\circ$ y $O=90^\circ$), por lo que es importante realizar una correcta lectura de la carta solar para poder interpretarla.

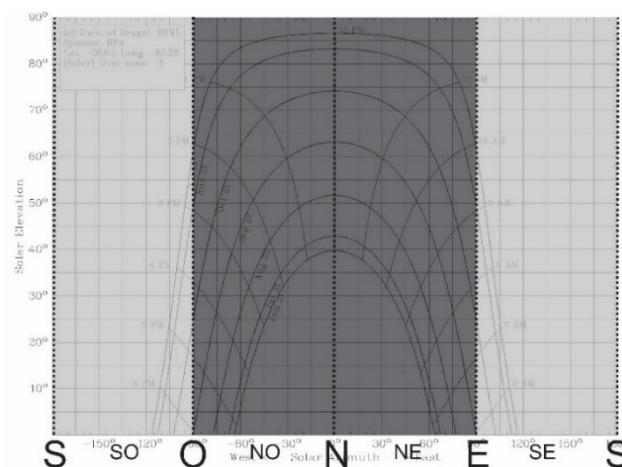


Figura 5.4. orientaciones en la carta solar. Fuente: Elaboración propia.

Una vez interpretadas la trayectoria solar y sus coordenadas, se puede determinar, a partir de la carta solar, el ángulo de incidencia de la radiación solar directa en las distintas orientaciones.

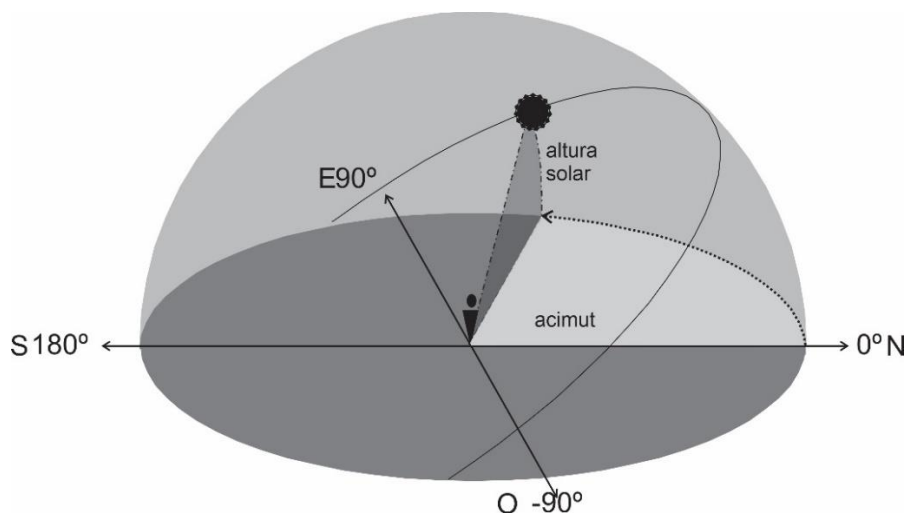


Figura 5.5. Coordenadas solares. Fuente: Elaboración propia.

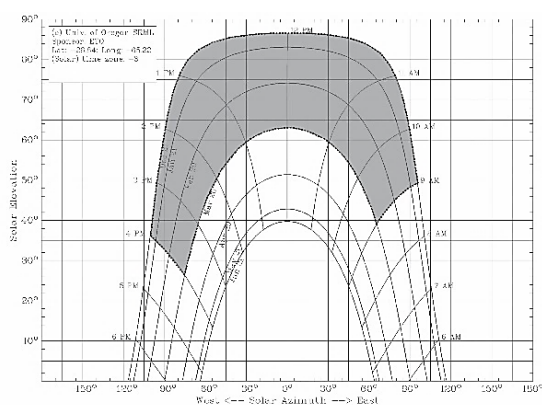


Figura 5.6. Ejemplo de zona a proteger para San Miguel de Tucumán. Fuente: Elaboración propia.

El próximo paso para diseñar las protecciones es definir los momentos en los que resulta necesario proteger y aquellos en los que se debe permitir el ingreso de la radiación solar. Esta decisión se toma basándose en el estudio del clima y de las estrategias bioclimáticas a considerar en los distintos meses del año.

A partir de las zonas definidas a proteger, tomamos los ángulos de las coordenadas para cada orientación. A continuación, se muestra a modo de ejemplo, el diseño de las protecciones para las cuatro orientaciones principales.

Se observa en la figura 5.7, que resulta muy sencillo proteger la orientación norte del ingreso de la radiación solar para el período de verano permitiendo el ingreso de la misma durante el invierno. Las aberturas hacia el norte resultan un recurso fundamental para permitir la calefacción solar pasiva durante los meses más fríos.

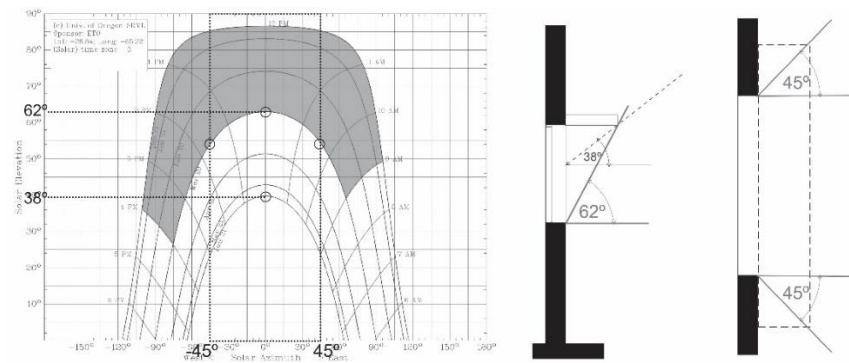


Figura 5.7. Diseño de protección solar para la orientación norte. Fuente: Elaboración propia.

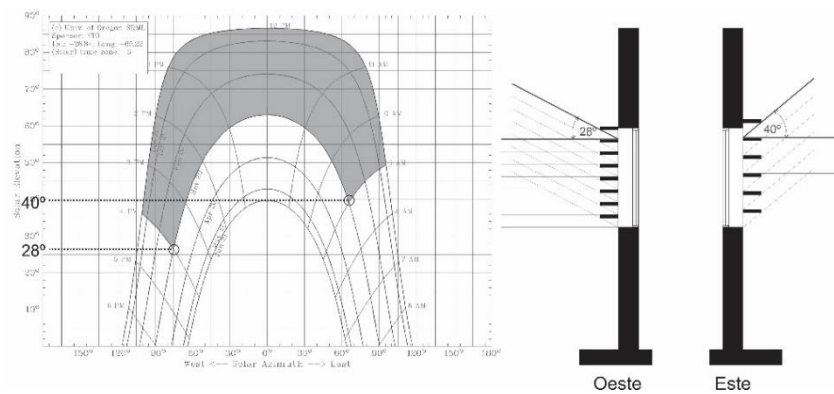


Figura 5.8. Diseño de protección solar para las orientaciones este y oeste. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 5.8, las orientaciones este y oeste presentan una incidencia de la radiación solar en verano con un ángulo agudo pequeño, por lo que resulta complejo utilizar protecciones fijas. Para estas orientaciones se recomienda el uso de protecciones móviles, de manera de poder permitir el ingreso de la radiación en el invierno. Para la orientación sur, la protección recomendada son los paneles verticales, ya que la incidencia de la radiación solar se da en las primeras y últimas horas del día durante el verano, con una altura solar muy baja. Durante el invierno no hay incidencia de radiación, por lo que solo se deben tener en cuenta las protecciones y no el ingreso. Las aberturas en esta orientación solo se utilizan para ventilar espacios, de ser necesario, ya que no se aprovecha la energía solar.

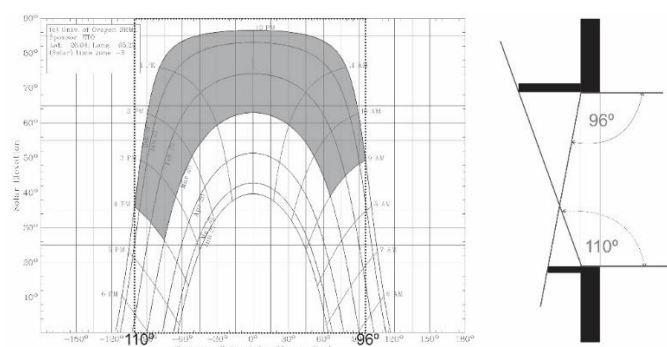
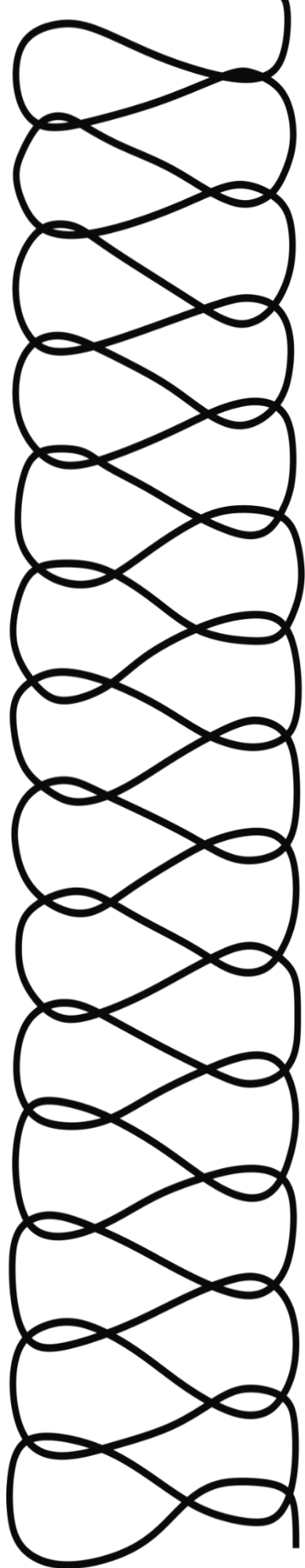


Figura 5.9. Diseño de protección solar para la orientación sur. Fuente: Elaboración propia.

5

Aislación térmica



Aislación térmica

Cuando se habla de aislación térmica, se hace referencia al conjunto de materiales y técnicas que se aplican en un elemento constructivo que separa dos espacios, para disminuir la transmisión de calor entre ellos.

Una manera de cuantificar la aislación térmica es a través del valor de *transmitancia térmica* (k), el cual se define según IRAM como: flujo de calor a través de la unidad de superficie de un elemento constructivo sujeto a una diferencia de temperatura del aire a ambos lados del elemento de 1 °C.

Para comprender mejor este concepto físico, resulta fundamental conocer los siguientes:

Conductividad térmica (λ): Flujo de calor transmitido a través de un material de espesor unitario por unidad de superficie, cuando el gradiente de temperatura en dirección normal es unitario. Se mide en UNIDAD, su valor varía en función de las propiedades de los materiales, cuanto menor sea su valor mayor es la capacidad aislante.

Resistencia térmica (R): Cociente entre la diferencia de temperatura y la densidad de flujo de calor, en condiciones de régimen estacionario. Se mide en UNIDAD, su valor presenta múltiples variables, entre ellas la conductividad térmica y el espesor del elemento constructivo, cuanto mayor es su valor mayor es la capacidad aislante.

Resistencia térmica superficial interna (R_{si}): resistencia térmica de la capa superficial de aire adyacente a la superficie interior de un elemento que transmite calor por radiación y convección.

Resistencia térmica superficial externa (R_{se}): resistencia térmica de la capa superficial de aire adyacente a la superficie exterior de un elemento que transmite calor por radiación y convección

Resistencia térmica total (R_t): es la sumatoria de las resistencias térmicas de los distintos componentes del elemento constructivo con la R_{si} y R_{se} . Su valor resulta la inversa a la transmitancia térmica.

Cuanto mayor es la capacidad aislante del elemento constructivo, mayor es su R_t , ya que impone más resistencia al paso del calor y menor la transmitancia térmica k , ya que es menor el flujo de calor que atraviesa al elemento.

Transmitancia térmica en elementos opacos, procedimiento de cálculo.

La transmitancia térmica es la inversa a la resistencia térmica total:

$$K=1/R_t$$

La R_t se obtiene a partir del siguiente cálculo:

$$R_t=R_{si}+R_1+R_2+R_3...R_c+R_{se}$$

Siendo:

R_{si} = Resistencia superficial interna.

R1, R2, R3...= Resistencia térmica de los distintos componentes del elemento constructivo.

Rc=resistencia térmica de la cámara de aire, si la hubiere.

Rse= Resistencia superficial externa

Las resistencias superficiales interna y externa (Rsi y Rse) varían en función de numerosos parámetros, como las propiedades de la superficie, en particular la emisividad de la superficie, la velocidad del aire a lo largo de la superficie, y las temperaturas de la superficie, del aire ambiente y de las superficies circundantes. IRAM propone, de manera simplificada, tomar estos valores como constantes en función de la dirección del flujo de calor. Se obtienen de la siguiente tabla (Tabla 4.1):

Rsi			Rse		
Dirección del flujo de calor			Dirección del flujo de calor		
Horizontal (muros)	Ascendente (pisos o techos)	Descendente (pisos o techos)	Horizontal (muros)	Ascendente (pisos o techos)	Descendente (pisos o techos)
0.13	0.10	0.17	0.04	0.04	0.04

Tabla 5.1. Resistencia térmica superficial. Fuente: elaboración propia.

La resistencia de los distintos componentes del elemento constructivo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R=e/\lambda$$

Siendo:

e= espesor de la capa, en metros.

λ = conductividad térmica del material, en wats por metro por grado kelvin (W/mK).

La λ se puede obtener a partir de los catálogos de los distintos materiales con propiedades térmicas específicas. La conductividad térmica de los materiales más convencionales está definida por IRAM, en la Tabla a.2 de los anexos del presente libro, se encuentran los valores de conductividad de algunos materiales empleados usualmente en nuestro medio.

La resistencia térmica de la cámara de aire, Rc, cuando esta es estanca, se obtiene a partir de la Tabla 4.2. El valor de Rc varía en función del espesor, siendo 100mm el límite máximo ya que, cuando se trata de espesores superiores no se puede considerar que el aire permanece estanco porque se producen movimientos de convección.

Espesor de la cámara de aire (mm)	Resistencia térmica (m²K/W)		
	Dirección del flujo de calor		
	Horizontal (Muros)	Ascendente (Pisos o techos)	Descendente (Pisos o techos)
5	0.11	0.11	0.11
10	0.14	0.13	0.15
20	0.16	0.14	0.18
50 a 100	0.17	0.14	0.21

Tabla 5.2. Resistencia térmica en cámaras de aire estancas. Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenido el valor k del elemento constructivo, se procede a compararlo con valores normados, establecidos por IRAM, quedando determinado así su grado de confort higrotérmico.

Estos valores, para verano, están determinados en función de la zona bioambiental, para muros (Tabla 4.3) y para techos (Tabla 4.4).

Zona Bioambiental	Nivel A	Nivel A/B	Nivel B	Nivel C
II	0.45	0.78	1.10	1.80
III	0.50	0.88	1.25	2.00

Tabla 5.3. Niveles de confort higrotérmico para muros en verano para las zonas bioclimáticas de la provincia de Tucumán. Fuente: elaboración propia.

Zona Bioambiental	Nivel A	Nivel A/B	Nivel B	Nivel C
II	0.18	0.31	0.45	0.72
III	0.19	0.34	0.48	0.76

Tabla 5.4. Niveles de confort higrotérmico para techos en verano para las zonas bioclimáticas de la provincia de Tucumán. Fuente: elaboración propia.

Para la situación de invierno, los niveles de confort higrotérmico están determinados en función de la temperatura exterior, se considera la temperatura mínima, la cuál se obtiene a partir de los datos climáticos de la zona en estudio.

Temperatura exterior (°C)	Nivel A	Nivel A/B	Nivel B	Nivel C
-5	0.31	0.57	0.83	1.45
-4	0.32	0.60	0.87	1.52
-3	0.33	0.62	0.91	1.59
-2	0.35	0.65	0.95	1.67
-1	0.36	0.68	0.99	1.75
≥0	0.38	0.69	1.00	1.85

Tabla 5.5. Niveles de confort higrotérmico para muros en invierno. Fuente: elaboración propia.

Temperatura exterior (°C)	Nivel A	Nivel A/B	Nivel B	Nivel C
-5	0.27	0.48	0.69	1.00
-4	0.28	0.50	0.72	1.00
-3	0.29	0.52	0.74	1.00
-2	0.30	0.54	0.77	1.00
-1	0.31	0.56	0.80	1.00
≥0	0.32	0.58	0.83	1.00

Tabla 5.6. Niveles de confort higrotérmico para techos en invierno. Fuente: elaboración propia.

Transmitancia térmica en carpinterías

Para el caso de las carpinterías, el valor k se obtiene por tabla. La tabla 4.7 presenta los distintos valores de transmitancia térmica en función de la solución empleada.

Tipo	Transmitancia térmica (K) W/m ² K
Vidrio incoloro común	5,82
Vidrio incoloro común con cortina de madera (cerrada)	2,79
Vidrio incoloro común con cortinas internas	
Policarbonato transparente incoloro de 3 mm de espesor	5,00
Doble vidriado hermético, con vidrio incoloro común y cortina de madera (cerrada)	5,46
Doble vidriado hermético, compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 6 mm	2,15
Doble vidriado hermético, compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 12 mm	3,23
Triple vidriado hermético, compuesto por 3 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y 2 cámaras de aire de 6 mm cada una	3,08
Doble vidriado hermético, compuesto por un vidrio reflectante obtenido por proceso pirolítico de 4 mm de espesor sobre base gris, cara reflectante hacia el exterior y vidrio incoloro común de 3 mm hacia el interior, cámara de aire de 6 mm	2,23
Doble vidriado hermético, compuesto por un vidrio reflectante obtenido por proceso pirolítico de 4 mm de espesor sobre base gris, cara reflectante hacia el interior de la cámara de aire de 6 mm de espesor, y vidrio incoloro común de 3 mm hacia el interior	3,45
	2,80

Tabla 5.7. valores de transmitancia térmica para carpinterías. Fuente: elaboración propia.

Las carpinterías se clasifican según su k en k₁, k₂, k₃, k₄ y k₅.

Categoría de aislación	Transmitancia térmica (W/ m ² K)
K ₁	K < 1,0
K ₂	1,0 ≤ K ≤ 1,5
K ₃	1,5 < K ≤ 2,0
K ₄	2,0 < K ≤ 3,0
K ₅	3,0 < K ≤ 4,0
No clasificable	> 4,0

Tabla 5.8. Categorías de aislación para carpinterías. Fuente: elaboración propia.

Ejemplo de cálculo

A continuación se muestra el cálculo del coeficiente de transmitancia térmica k en un muro de ladrillo cerámico macizo revocado en su interior (Figura 4.1) para una vivienda ubicada en San Miguel de Tucumán (zona IIb).

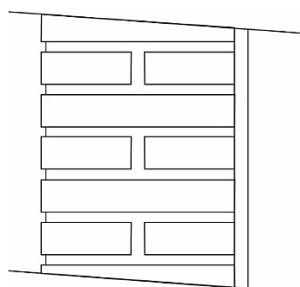


Figura 5.1. Detalle muro ladrillo cerámico macizo revocado en el interior. Fuente: elaboración propia.

De la tabla 4.1 se obtiene que:

$R_{si}=0.13$ (dirección del flujo de calor horizontal)

$R_{se}=0.04$ (dirección del flujo de calor horizontal)

Para obtener la resistencia térmica de los materiales dividimos el espesor sobre la conductividad, buscamos los valores en la tabla A.2. del anexo:

Elemento	e [m]	λ [W/mK]	e/λ [m ² K/W]
Revoque interior	0.025	0.93	0.027
Mampostería de ladrillo cerámico macizo	0.30	0.91	0.33
TOTAL R_m			0.36

Tabla 5.9. Cálculo de resistencia térmica de materiales para el ejemplo de aplicación.

Fuente: elaboración propia.

Se suman todas las resistencias para obtener la resistencia total:

$$R_t=0.13+0.04+0.36$$

$$R_t=0.53$$

Finalmente, se calcula la inversa a la resistencia para obtener la transmitancia térmica:

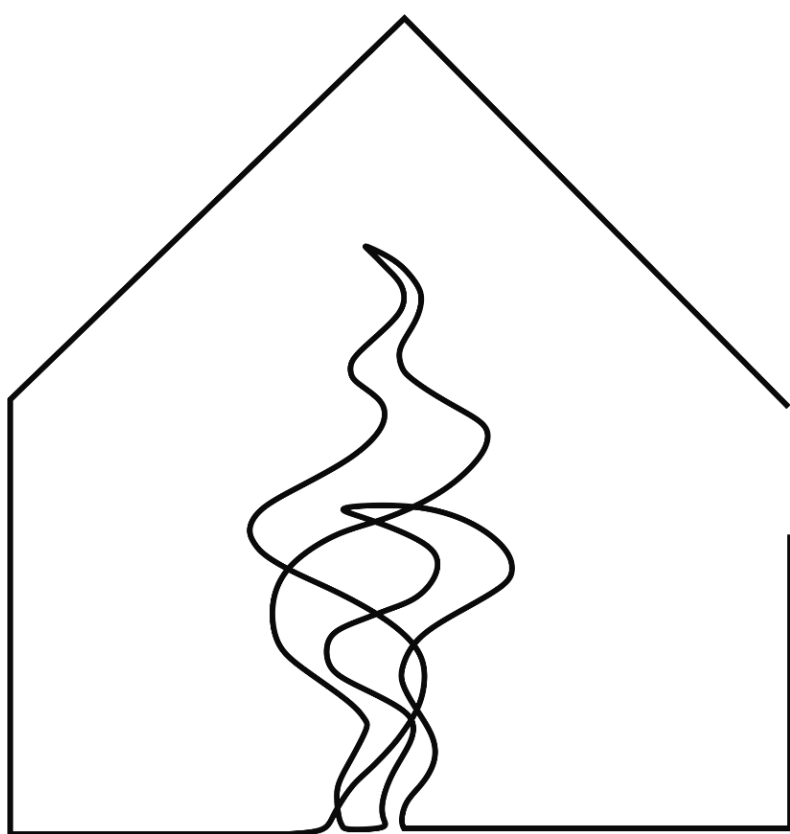
$$k=1/0.53$$

$$k=1.89 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Verificación: para verano, cumple con el nivel B de confort higrotérmico, para el invierno cumple con el nivel B de confort higrotérmico.

6

Coeficiente volumétrico de calefacción



Coeficiente volumétrico de calefacción (G_{cal})

El coeficiente volumétrico de pérdidas de calor (G_{cal}) es un parámetro global que pondera que pondera todos los elementos que intervienen en las pérdidas de calor de un edificio. El cálculo de este coeficiente resulta fundamental, ya que el cumplimiento de las transmitancias térmicas máximas admisibles de los elementos de cerramiento de un local puede no ser suficiente para controlar las pérdidas de calor totales del conjunto.

IRAM establece valores admisibles de G (G_{adm}) en función de la ubicación geográfica del edificio y de su volumen interior. Para que un edificio se comporte de manera eficiente durante el invierno, se debe verificar que el G obtenido mediante el cálculo (G_{cal}) sea menor o igual a G_{adm} .

Procedimiento de cálculo G_{cal}

Las variables que inciden en el G_{cal} son la transmitancia térmica de los elementos la envolvente y la forma del edificio. Ya que las pérdidas de calor disminuyen no solo con el aumento de la aislación de la envolvente, sino también con la morfología edilicia, la compacidad contribuye a disminuirlas. Es decir que en dos construcciones que cumplan idénticas normas de aislamiento térmico, las pérdidas de calor globales serán distintas en la medida que difieran en forma.

La ecuación para el cálculo es la siguiente:

$$G_{cal} = \frac{\sum km \times sm + \sum kv \times sv + \sum \gamma kr \times sr + Per \times Pp}{V} + 0.35n$$

Siendo:

G_{cal} = Coeficiente volumétrico de edificio vivienda calefaccionado en Watt por metro cúbico grado kelvin (Wm^3K).

Km = transmitancia térmica de los cerramientos opacos que lindan con el exterior en Watt por metro cuadrado grado kelvin (Wm^2K).

Sm =Superficie de los cerramientos opacos que lindan con el exterior, en metros cuadrados (m^2).

Kv = Transmitancia térmica de los cerramientos no opacos que lindan con el exterior en Watt por metro cuadrado grado kelvin (Wm^2K).

Sv = Superficie de los cerramientos no opacos que lindan con el exterior en metros cuadrados (m^2).

γ = Factor de corrección su procedimiento de cálculo se indica más adelante).

Kr = Transmitancia térmica corregida de cada uno de los elementos opacos y no opacos que lindan con locales calefaccionados en Watt por metro cuadrado grado kelvin (Wm^2K). Este valor se incluye en caso de que el edificio cuente con algún elemento de la envolvente lindante con otro edificio o local, por ejemplo una vivienda entre medianeras o una unidad en un edificio en altura.

Sr= Superficie de cada uno de los elementos opacos y no opacos que lindan con locales calefaccionados, en metros cuadrados (m²).

Per= Perímetro del piso en contacto con el aire exterior expresado en metros (m).

PP= Pérdidas de calor por el piso en contacto con el terreno expresado en watt por metro cuadrado (W/m²). (El procedimiento para determinar este valor se indica más abajo).

V= El volumen interior del edificio calefaccionado en metros cúbicos (m³).

0,35= Capacidad específica asumida del aire en Watt por metro cúbico (W/m³).

n= numero de renovaciones por hora, Se adopta 2 como valor.

Transmitancia térmica corregida (kr)

Cuando el cerramiento no linde con el exterior, sino con un edificio, deberá multiplicarse el coeficiente K por un factor de corrección γ . A modo simplificado y para evitar el cálculo la norma permite adoptar los siguientes valores para γ :

$\gamma = 0.5$ para cerramientos que lindan con locales pertenecientes a edificios contiguos calefaccionados.

$\gamma = 1$ en cualquier otro caso.

Pérdidas de calor por el piso en contacto con el terreno

Se determinan las pérdidas de calor del piso en contacto con la envolvente vertical, los valores se obtienen a partir de la siguiente tabla:

Zonas bioclimáticas	Piso sin aislación	Piso con aislación perimetral	Piso con aislación total
I y II	1.28	1.00	0.85
III	1.38	1.08	0.93

Tabla 6.1. Valores de pérdidas de calor por el piso en contacto con la vertical para las zonas bioclimáticas de Tucumán. Fuente: IRAM

Obtención de G_{adm}

Para evaluar al edificio en función del ahorro de energía para calefaccionar, se deberá verificar que el G_{cal} obtenido sea menor o igual que el G_{adm} . Se obtiene de la siguiente tabla:

Volumen calefactado [m ³]	Grados días de calefacción [°C]											
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	2500	3000	4000	5000
50	2.71	2.66	2.60	2.56	2.53	2.49	2.46	2.45	2.40	2.35	2.28	2.11
100	2.21	2.17	2.13	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	1.98	1.94	1.89	1.76
200	1.86	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.72	1.71	1.66	1.65	1.61	1.51
300	1.70	1.67	1.65	1.62	1.61	1.59	1.58	1.57	1.55	1.52	1.49	1.39

400	1.61	1.58	1.56	1.54	1.53	1.51	1.50	1.49	1.47	1.44	1.41	1.33
500	1.54	1.52	1.50	1.48	1.47	1.45	1.44	1.44	1.42	1.39	1.36	1.28
1000	1.38	1.36	1.35	1.33	1.33	1.31	1.31	1.30	1.28	1.26	1.24	1.17
1500	1.31	1.30	1.28	1.24	1.26	1.25	1.25	1.24	1.22	1.20	1.18	1.12
2000	1.27	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.20	1.19	1.17	1.15	1.09

Tabla 6.2. Valores G admisible. Fuente: IRAM

Volumen calefacción [m3]	Grados días de calefacción [°C]											
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	2500	3000	4000	5000
2500	1.24	1.23	1.21	1.21	1.20	1.19	1.18	1.18	1.16	1.14	1.13	1.07
3000	1.22	1.21	1.19	1.19	1.18	1.17	1.17	1.16	1.15	1.13	1.11	1.05
3500	1.21	1.19	1.18	1.17	1.16	1.16	1.15	1.15	1.13	1.11	1.10	1.04
4000	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.15	1.14	1.14	1.12	1.10	1.09	1.03
4500	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.14	1.13	1.13	1.11	1.09	1.08	1.03
5000	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.13	1.12	1.12	1.10	1.09	1.07	1.02
7500	1.14	1.13	1.12	1.11	1.11	1.10	1.09	1.09	1.08	1.06	1.04	1.00
10000	1.12	1.11	1.10	1.09	1.09	1.08	1.08	0.07	1.06	1.05	1.03	0.98

Tabla 6.2. Valores G admisible. Fuente: IRAM

Los grados días de calefacción para la provincia de Tucumán se obtienen de la siguiente imagen:

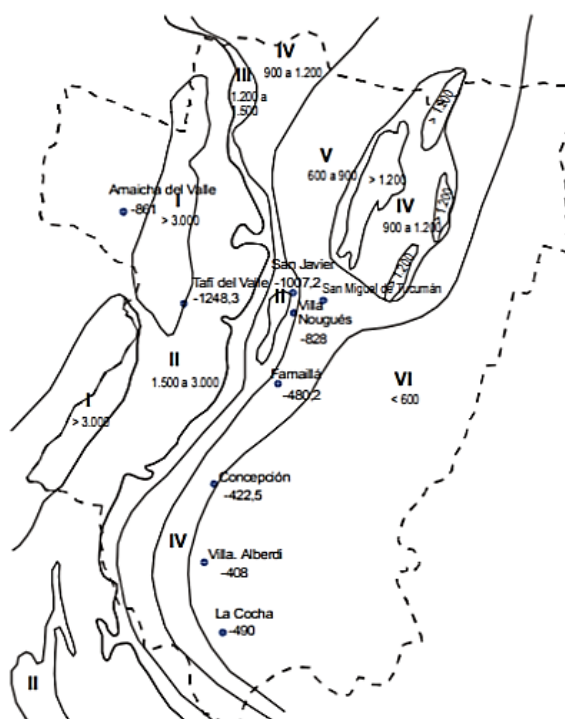
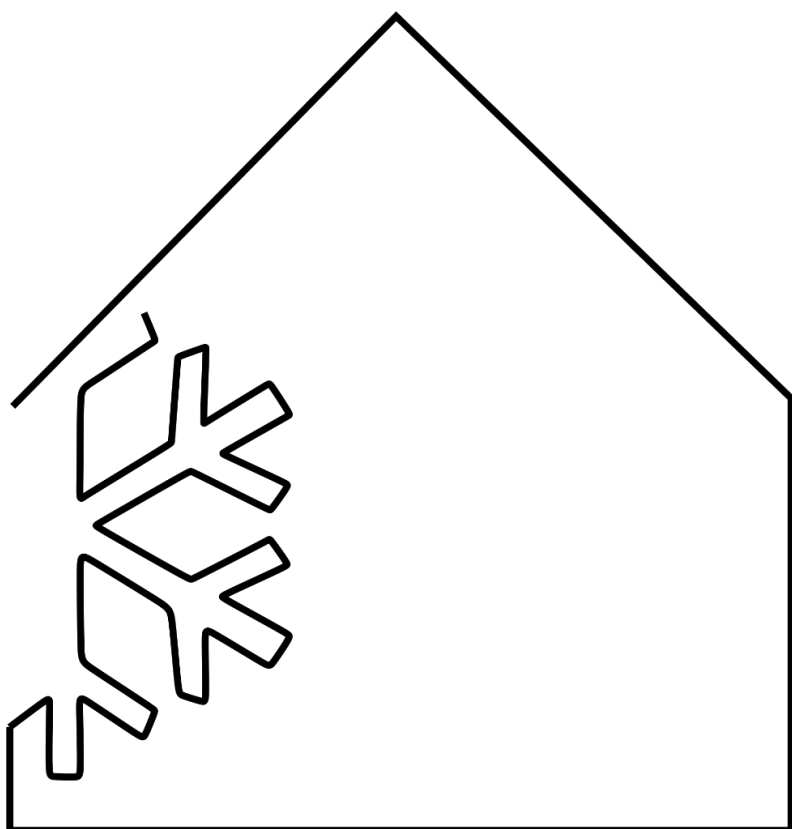


Figura 6.1. Grados días de calefacción para la provincia de Tucumán. Fuente INENCO.

7

Coeficiente volumétrico de refrigeración



Coeficiente volumétrico de refrigeración (G_R)

El cumplimiento de las transmitancias térmicas máximas admisibles de los elementos de cerramiento de un edificio puede no ser suficiente para controlar las ganancias de calor totales del conjunto. De ahí la necesidad de definir un parámetro global que pondere todos los elementos que intervienen en el proceso.

Durante el verano, un edificio recibe calor por numerosas fuentes térmicas, el equipo de refrigeración debe extraerlo para mantener el confort higrotérmico reduciendo la temperatura interior. Se consideran las ganancias por fuentes externas, teniendo en cuenta la dirección del flujo de calor de afuera hacia adentro y se consideran a su vez las ganancias por fuentes internas (artefactos y ocupantes). El ítem de mayor carga térmica, varía en función del destino del edificio, por ejemplo para un edificio de vivienda con una superficie vidriada importante, la mayor ganancia se debe a la radiación solar, mientras que para otro muy habitado, como un boliche bailable, se debe a las personas.

La evaluación de un edificio o local a los efectos del ahorro energético se realiza en función de un parámetro denominado coeficiente volumétrico de refrigeración (G_R). Este valor debe ser menor al máximo admisible.

Método de cálculo

A través del procedimiento de cálculo descripto a continuación, se obtiene el valor Q_R (carga térmica total de refrigeración) a partir del cual se calcula G_R , debiéndose cumplir con la siguiente condición

$$G_R < G_{Radm}$$

El primer paso, consiste en el cálculo de Q_R mediante la siguiente fórmula:

$$Q_R = Q_c + Q_a + Q_s + Q_o$$

Donde:

Q_R = Carga térmica total de refrigeración, en Watt (W).

Q_c = Carga térmica por conducción, en Watt (W).

Q_a = Carga térmica por ventilación, en Watt (W).

Q_s = Carga térmica solar, en Watt (W).

Q_o = Carga térmica por fuentes internas, en Watt (W).

Carga térmica por conducción

Se refiere a las ganancias por conducción a través de la envolvente opaca y no opaca, se calcula mediante la siguiente formula:

$$Q_c = \sum k \cdot A \cdot (t_e - t_i)$$

Donde:

k= La transmitancia térmica del elemento de la envolvente en watt por metro cuadrado grado kelvin. Calculo según procedimiento expresado en la unidad 6.

A= La superficie del elemento de la envolvente, en metro cuadrado.

T_e= La temperatura exterior, en grado centígrado. Se considera la temperatura máxima media de la región analizada.

T_i= La temperatura interior, en grado centígrado. Se obtiene en función de la temperatura exterior y del nivel de confort deseado a partir de la tabla 7.1.

Temperatura exterior	Nivel de confort		
	A °C	B °C	C °C
35°C	25	26	27
Mayor a 35°C	27	28	30

Tabla 7.1. Valores de temperatura de confort interior. Fuente IRAM.

Carga térmica por ventilación

Se refiere al calor producido por la masa de aire caliente y húmedo que se introduce en el edificio y que el equipo de aire debe acondicionar. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_a = C_{AR}(0.25 \cdot \Delta t + 0.61 \cdot \Delta w)$$

Donde:

C_{AR}= Caudal de aire a renovar, en metros cúbicos por hora. Se obtiene multiplicando el numero de personas por el caudal de aire a renovar por persona (tabla 7.2).

$$C_{AR} = C_{ARp} \cdot N_{pers}$$

Destino del local	C _{ARp} m³/h/persona
Vivienda/ oficina	15
Comercio	15 a 25
Industria	15 a 20
Bar	30 a 90
Sala de operaciones	120
Cine/ teatro	36

Tabla 7.2. Cantidad de aire recomendada para ventilación por persona para verano.

Fuente: elaboración propia, a partir de valores IRAM.

0.25= Valor constante, se expresa en Watt por metro cúbico grado centígrado (W/m³°C)

Δt= Diferencia entre temperatura exterior e interior, en grado centígrado.

$$\Delta t = t_e - t_i$$

0.61= valor constante expresado en Watt por metro cúbico por gramo (W/m³g).

Δw= Diferencia de humedad específica exterior e interior, en gramos por kilogramos. Estos valores se obtienen a partir de la temperatura y humedad empleando el diagrama psicrométrico (Figura 7.1): en el eje x se encuentran los valores de

temperatura, las curvas se refieren al valor de humedad relativa y en el eje de las Y se encuentra el valor de humedad específica. Para el exterior, se emplean los datos del clima de la región, para la interior se toma el valor t_i (tabla 7.1) y una HR interior de 50%.

$$\Delta w = w_e - w_i$$

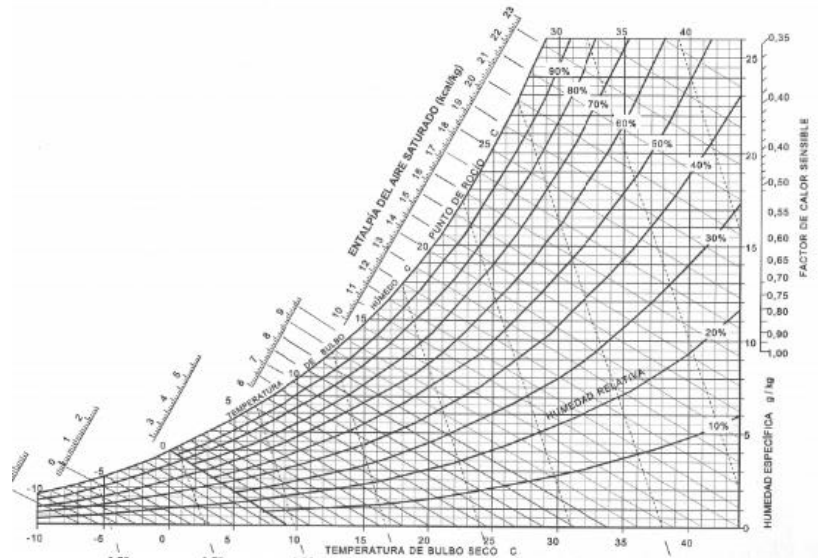


Figura 7.1. Diagrama psicrométrico. Fuente IRAM.

Carga térmica solar

Se refiere al calor debido al ingreso de la radiación solar a través de las superficies vidriadas, su valor depende de la hora del día, la orientación y el material vidriado. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_s = \sum A I_s f_{es}$$

Donde:

A = Área de la superficie vidriada, en metros cuadrados.

I_s = Intensidad de la radiación solar, en Watt por metro cuadrado. Se toma el valor a las 12hs, por ser el máximo diario. En la Tabla 7.3 se encuentran los valores de I_s para las zonas bioclimáticas de la provincia de Tucumán.

Zona bioclimática	Intensidad de la radiación solar								
	Horizontal	S	SE	E	NE	N	NO	O	SO
IIa	758	289	289	289	319	331	319	289	289
IIb	690	295	295	295	311	318	311	295	295
IIIa	816	274	274	274	339	366	339	274	274

Tabla 7.3. Valores de radiación solar para las zonas bioclimáticas de Tucumán. Fuente elaboración propia.

f_{es} = El factor de exposición solar del vidrio. Se obtiene de la tabla 7.4.

Tipo de vidrio	Espesor (mm)	Sin persianas	Persianas venecianas interiores	Persianas venecianas exteriores	Persianas exteriores
Incoloro	3	1.00	0.65	0.13	0.22
	4	0.98	0.64	0.13	0.22
	5	0.96	0.62	0.12	0.21
	6	0.95	0.62	0.12	0.21
	10	0.89	0.58	0.12	0.20
Coloreado en su masa gris	3	0.85	0.55	0.13	0.19
	6	0.73	0.47	0.11	0.16
Coloreado en su masa bronce	3	0.85	0.55	0.13	0.19
	6	0.73	0.48	0.11	0.16
Coloreado en su masa verde	3	0.82	0.53	0.12	0.18
	6	0.68	0.44	0.10	0.15
Reflectivo incoloro	6	0.62	0.40	0.09	0.14
Reflectivo gris	6	0.37	0.24	0.06	0.08
Reflectivo bronce	6	0.43	0.28	0.06	0.09
DVH					
Incoloro ext. e int.	3+12+3	0.88	0.57	0.13	0.19
Incoloro ext. e int.	6+12+6	0.81	0.53	0.12	0.18
Color gris ext.+ incol. int	3+12+3	0.72	0.47	0.11	0.16
Color gris ext.+ incol. int	6+12+6	0.59	0.38	0.09	0.13
Color bronce ext.+ incol. int	3+12+3	0.70	0.46	0.11	0.15
Color bronce ext.+ incol. int	6+12+6	0.54	0.35	0.08	0.12

Tabla 7.4. Valores de Factor solar para carpinterías. Fuente elaboración propia a partir de IRAM.

Carga térmica por fuentes internas

Resulta de la suma del aporte de calor generado por las personas, las luminarias y los artefactos eléctricos y a gas presentes. La carga por fuentes internas queda definida:

$$Q_o = Q_{pers} + Q_{ilum} + Q_{equip}$$

Donde:

Q_{pers} = Carga térmica debido a las personas, se obtiene multiplicando el número de personas por el calor metabólico (M) producido.

$$Q_{pers} = N_{pers} \cdot M$$

El calor metabólico está dado en función de la actividad que realiza la persona y se obtiene de la siguiente tabla:

Actividad humana	Calor metabólico (W)
Dormir	75
Reposar sentado	120
Trabajar sentado	130-190
Trabajar de pie	190-230
Trabajar con movimientos moderados	290-400
Trabajar con movimientos intensos	430-600
Trabajar con movimientos muy intensos	600-700

Tabla 7.5. Calor metabólico según actividad humana. Fuente elaboración propia.

Q_{ilum} = Carga térmica debido a la iluminación. Se obtiene al multiplicar la fuente interna de iluminación artificial(Tabla 7.6), por la superficie a iluminar por el coeficiente térmico (Tabla7.7).

$$Q_{ilum}= q_{lum} \cdot A_i \cdot C_{Ti}$$

Nivel de iluminación (lx)	Energía térmica (W/m ²)		
	Fluorescente	Incandescente	Dicroica
200	8	20	30
250	10	25	38
300	12	30	45
400	16	40	60
500	20	50	75

Tabla 7.6. Energía térmica para iluminación artificial. Fuente elaboración propia

Tipo de luminarias	Coeficiente térmico
Fluorescente	1.25
Incandescente	1.00
Dicroica	1.25

Tabla 7.7. Coeficiente térmico de luminarias. Fuente elaboración propia.

En caso de contar con iluminación LED, no se considera la carga térmica producida por las luminarias.

Q_{equip} = Se obtiene multiplicando el calor emitido por cada artefacto (Tabla 7.8) por el número de artefactos.

$$Q_{equip}=q_{art} \cdot N_{art}$$

Artefactos	Q
Eléctricos	(W)
Aspiradora	500
Cafetera	290
PC escritorio	200 a 300
PC portátil	45
Equipo de audio	150
Fotocopiadora	500
Heladera	360
Impresora inyección de tinta	15 a 35
Impresora láser	450 a 1100
Lavarropas	300
Monitor	45
Plancha	700
Proyector	500 a 1500
Secador de pelo	790
Televisor	300
Tostadora	1000
Ventilador	50 a 150
A gas	(W/(m ³ /h))
Cocina	10350
Horno	2652
Freidora	2053
Parrilla	5280

Tabla 7.8. Valores de calor producido por diversos artefactos. Fuente elaboración propia.

Una vez obtenido el Q_R , carga térmica de refrigeración, se procede a calcular el G_R (W/m^3), coeficiente volumétrico de refrigeración dividiendo la carga térmica en el volumen a refrigerar:

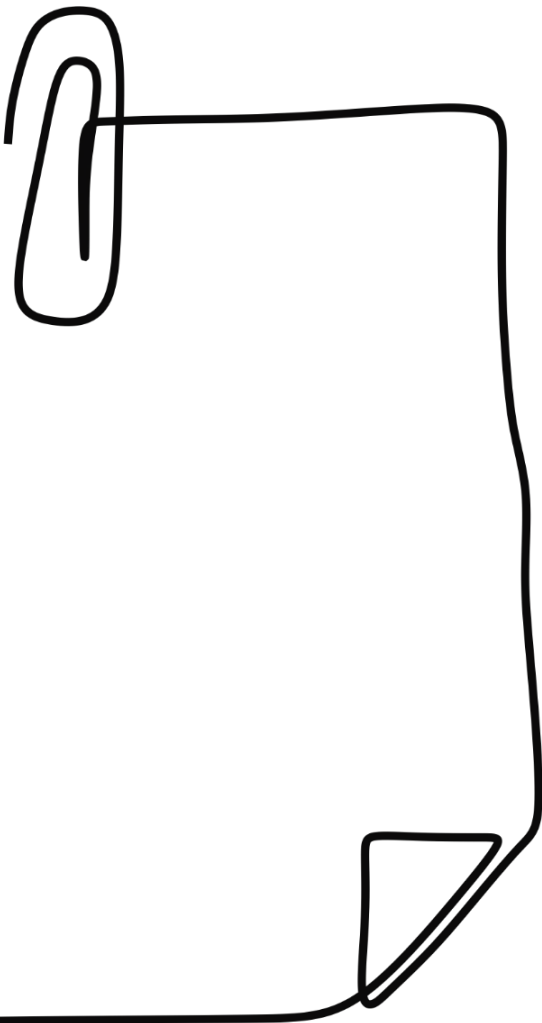
$$G_R = Q_R / v$$

Una vez obtenido el G_R , se verifica que este sea menor al G_{adm} , el cual se obtiene de la siguiente tabla (Tabla 7.9):

Volumen (m ³)	Temperatura exterior (°C)										
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
30	38,40	40,95	43,47	46,00	48,51	51,03	53,53	56,03	58,51	61,01	63,48
50	31,02	33,08	35,12	37,17	39,20	41,25	43,28	45,32	47,34	49,38	51,39
100	22,76	24,24	25,70	27,17	28,62	30,08	31,53	32,99	34,43	35,88	37,31
150	19,24	20,47	21,69	22,92	24,13	25,36	26,56	27,78	28,98	30,19	31,39
200	17,18	18,27	19,35	20,44	21,52	22,60	23,67	24,75	25,82	26,89	27,96
250	15,79	16,79	17,78	18,77	19,76	20,75	21,73	22,72	23,69	24,68	25,65
300	14,78	15,71	16,63	17,55	18,47	19,39	20,31	21,23	22,14	23,06	23,97
350	13,99	14,87	15,74	16,61	17,48	18,35	19,21	20,08	20,95	21,81	22,67
400	13,36	14,20	15,02	15,86	16,68	17,51	18,34	19,17	19,99	20,82	21,64
450	12,84	13,64	14,44	15,24	16,03	16,83	17,62	18,41	19,20	20,00	20,79
500	12,41	13,18	13,94	14,71	15,48	16,25	17,01	17,78	18,54	19,31	20,07
550	12,03	12,78	13,52	14,26	15,00	15,75	16,49	17,23	17,97	18,78	19,45
600	11,71	12,43	13,15	13,87	14,59	15,32	16,03	16,76	17,48	18,20	18,92
650	11,42	12,12	12,82	13,53	14,23	14,94	15,64	16,34	17,04	17,75	18,45
700	11,16	11,85	12,54	13,22	13,91	14,60	15,28	15,97	16,66	17,35	18,03
750	10,93	11,61	12,28	12,95	13,62	14,30	14,96	15,64	16,31	16,99	17,66
800	10,73	11,39	12,04	12,70	13,36	14,02	14,68	15,34	16,00	16,66	17,32
850	10,54	11,19	11,83	12,48	13,12	13,77	14,42	15,07	15,71	16,37	17,01
900	10,37	11,01	11,64	12,27	12,91	13,55	14,18	14,82	15,46	16,10	16,73
950	10,21	10,84	11,46	12,09	12,71	13,34	13,96	14,59	15,22	15,85	16,48
1000	10,07	10,68	11,29	11,91	12,52	13,15	13,76	14,38	15,00	15,62	16,24

Tabla 7.9. G_{adm} en función del volumen interior y la temperatura exterior. Fuente elaboración propia.

Anexos



Anexos

Anexo 1. Datos climáticos ciudad de San Miguel de Tucumán.

Mes	Valores de temperatura (°C)					
	máxima	max. media	media	mín. media	mínima	Amplitud térmica
Enero	38.49	31.39	25.97	20.54	15.72	10.83
Febrero	36.24	29.92	25.14	20.36	15.47	9.55
Marzo	34.13	27.18	22.56	17.95	12.45	9.21
Abril	31.05	24.67	20.24	15.85	9.44	8.81
Mayo	26.85	20.88	16.56	12.2	6.31	8.64
Junio	24.77	18.62	13.5	8.34	2.29	10.28
Julio	26.5	18.56	12.77	6.99	0.56	11.5
Agosto	32.44	22.76	15.88	9.01	2.67	13.77
Septiembre	35.16	25.93	19.12	12.29	5.27	13.62
Octubre	37.31	27.68	21.56	15.46	8.98	12.21
Noviembre	37.56	29.81	23.85	17.91	12.74	11.9
Diciembre	39.21	31.18	25.38	19.59	14.05	11.58

Tabla A1.1. Datos de temperatura para la ciudad de San Miguel de Tucumán

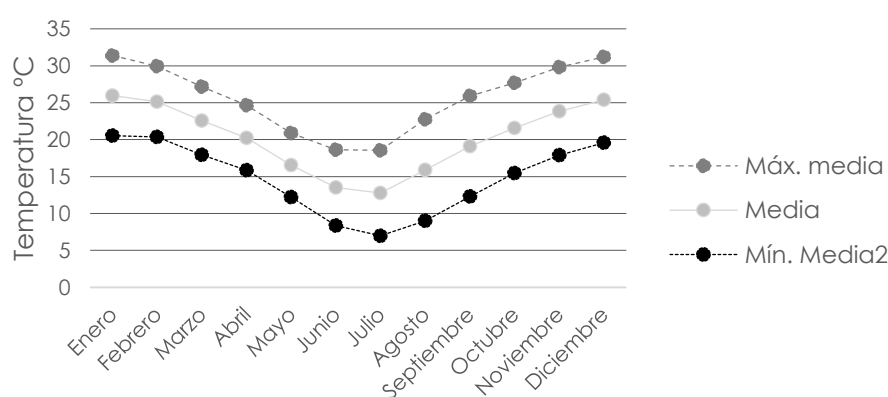


Gráfico A1.1. Temperaturas medias para san miguel de Tucumán.

Mes	Valores de humedad relativa (%)		
	max. media	media	mín. media
Enero	87	68	49
Febrero	90	73	56
Marzo	92	75	59
Abril	92	77	61
Mayo	92	77	61
Junio	91	74	56
Julio	87	67	48
Agosto	79	57	35
Septiembre	76	56	35
Octubre	81	61	41
Noviembre	82	62	43
Diciembre	86	65	45

Tabla A1.2. Datos de humedad relativa para la ciudad de San Miguel de Tucumán

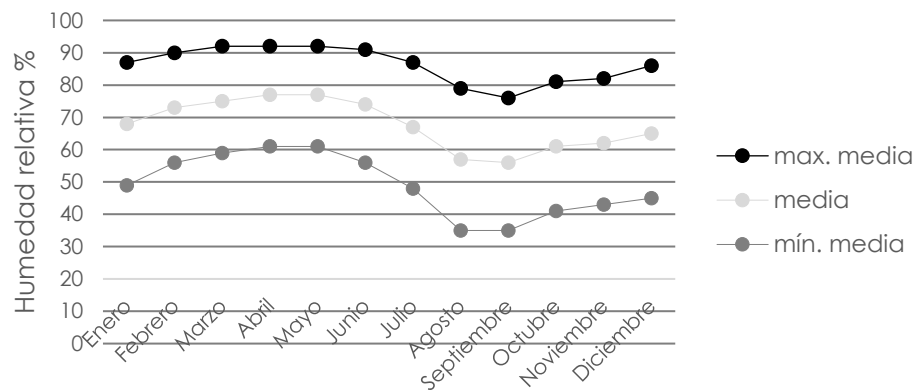


Gráfico A1.2. Humedades relativas medias para san miguel de Tucumán.

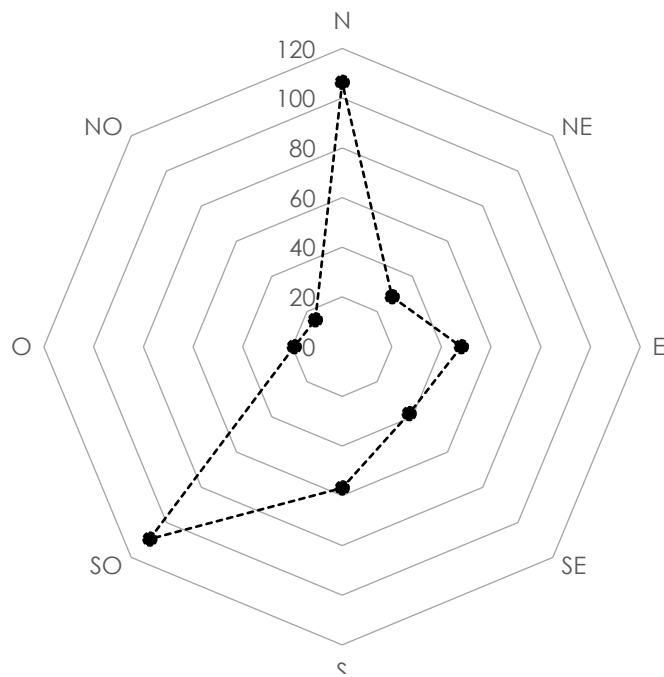


Gráfico A1.3. Frecuencias de vientos anual para san miguel de Tucumán en 1/1000.

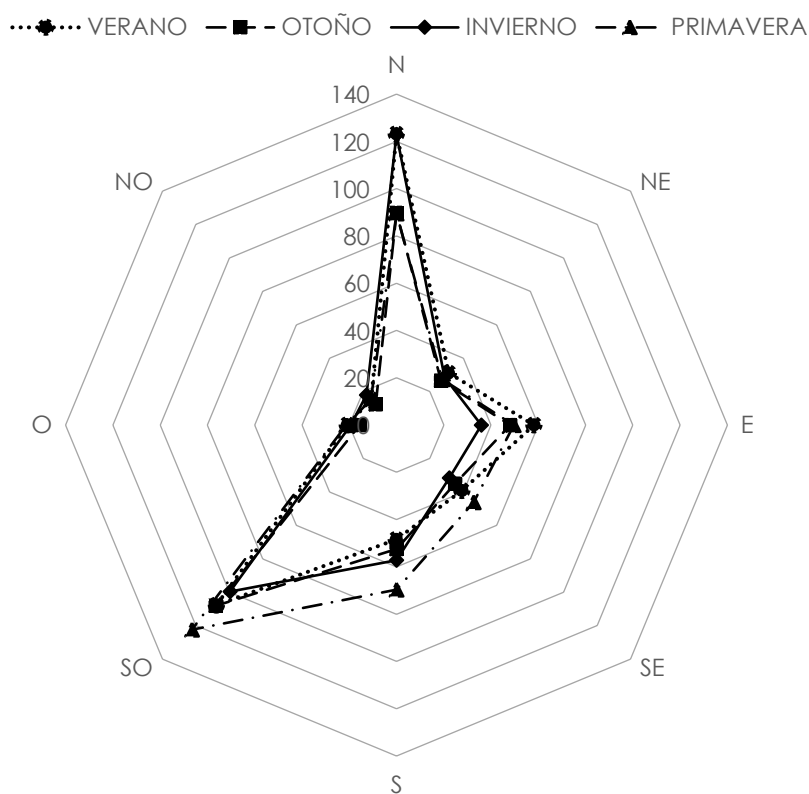


Gráfico A1.4. Frecuencias de vientos por estación para San Miguel de Tucumán en 1/1000.

Anexo 2. Radiación solar ciudad de San Miguel de Tucumán

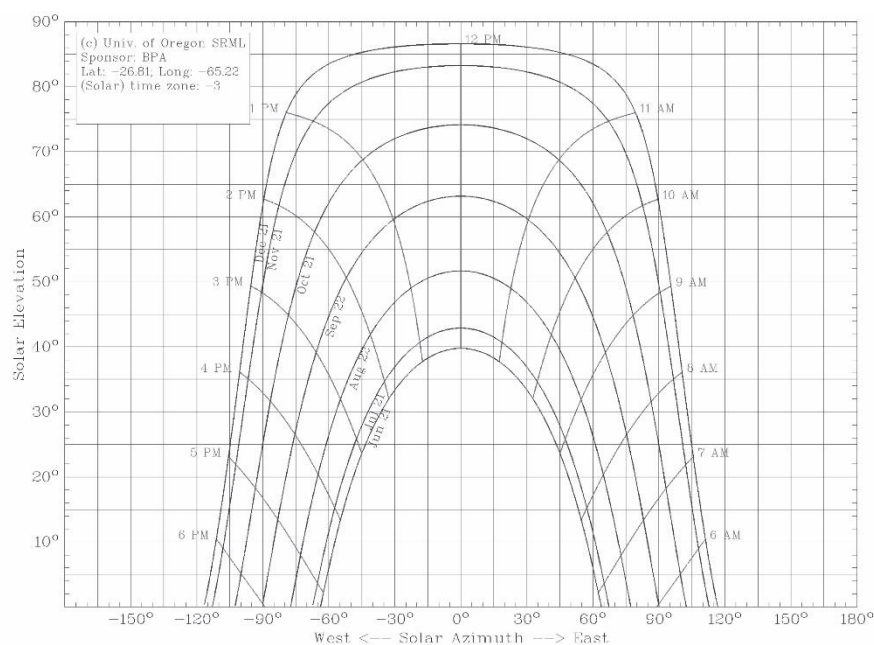


Figura A2.1. Diagrama de trayectoria solar invierno-primavera para San Miguel de Tucumán.

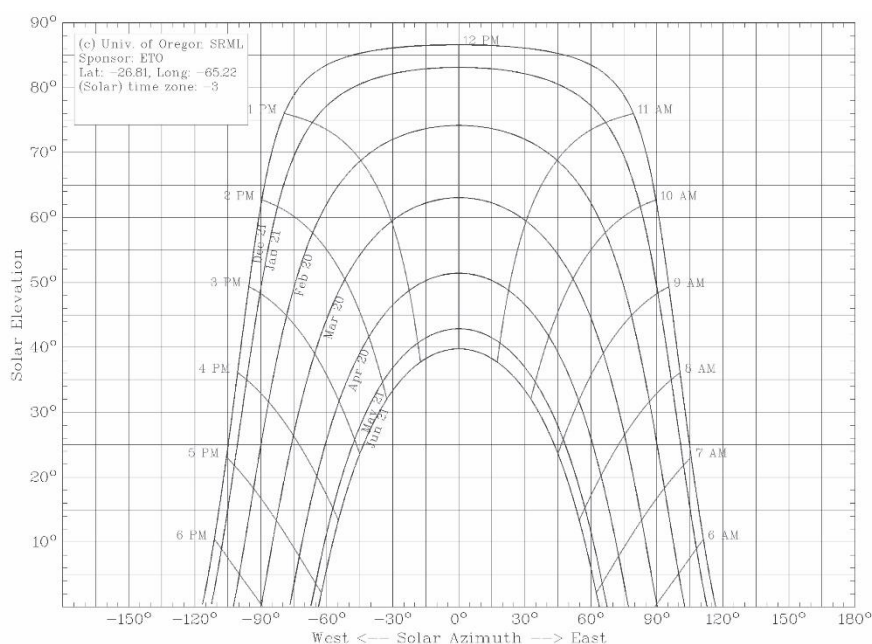


Figura A2.2. Diagrama de trayectoria solar verano- otoño para San Miguel de Tucumán.

Anexo 3. Propiedades de los materiales.

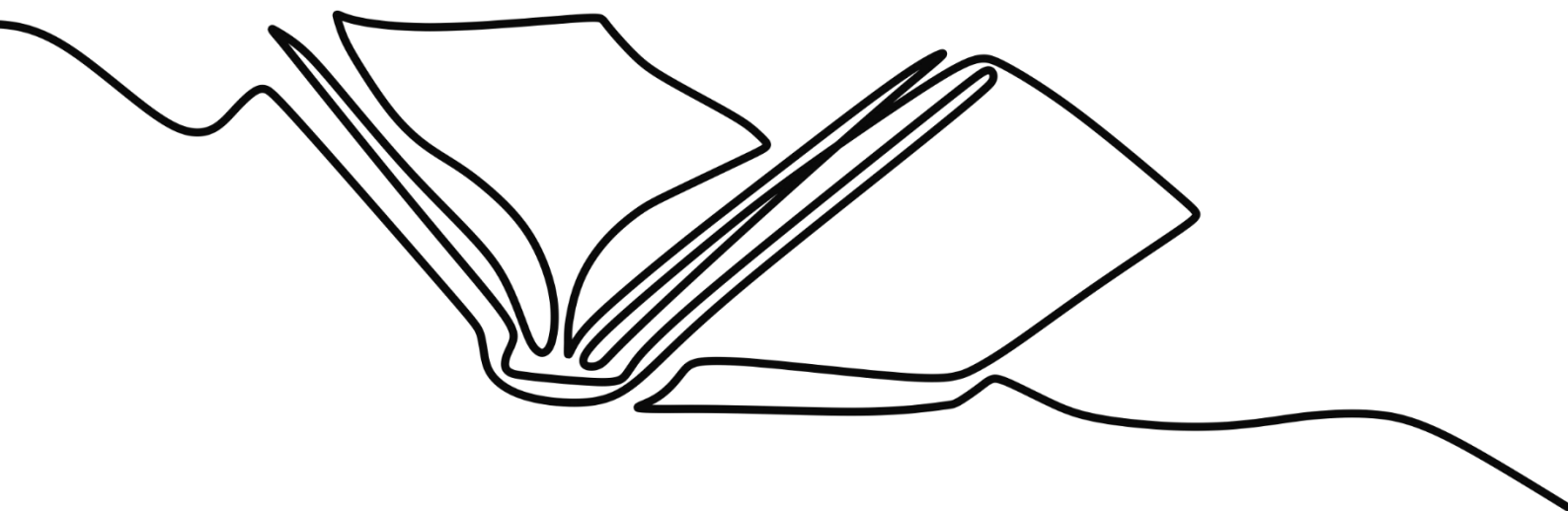
MORTEROS Y YESO		
Morteros de revoques y juntas (exterior)	1800 a 2000	1,16
Morteros de revoques y juntas (interior)	1900	0,93
Mortero de cemento y arena 1:3	1900	0,89
	2000	1,13
Mortero de cemento y arena 1:4	2100	1,30
	1950	0,92
Mortero de cemento y arena 1:4	2000	1,10
Mortero con perlita	600	0,19
Mortero de yeso y arena	1500	0,65
Mortero de cal y yeso	1400	0,60
Enlucido de yeso	800	0,40
	1000	0,49
	1200	0,64
HORMIGONES NORMALES Y LIVIANOS		
Hormigón normal con agregados pétreos	1800	0,97
	1900	1,09
	2000	1,16
	2200	1,40
	2400	1,63
	2500	1,74
Hormigón de ladrillo triturado	1600	0,76
	1800	0,93
Hormigón normal con escoria de alto horno	2200 a 2400	1,40
Hormigón de arcilla expandida	700	0,22
	800	0,29
	900	0,35
	1000	0,42
	1400	0,57

		1600	0,89
Hormigón con vermiculita		500	0,14
		600	0,16
		600	0,16
Hormigón celular (incluye hormigones gaseosos y hormigones espumosos)		800	0,22
		1000	0,30
		1200	0,40
		1400	0,50
		1100	0,37
Hormigón con cáscara de arroz y canto rodado		1300	0,45
		1600	0,63
		2000	1,09
		300	0,09
Hormigón con poliestireno expandido		500	0,15
		1000	0,26
		1300	0,35
		300	0,09
Hormigón con fibras celulósicas		400	0,14
		2100	1,11
Hormigón con fibras de vidrio		900	0,18
Hormigón refractario		600	0,13
Hormigón con carbón		400	0,14
		500	0,16
PANELES O PLACAS			
De yeso		600	0,31
		800	0,37
		1000	0,44
		1200	0,51
De fibrocemento		600	0,15
		700	0,26
		800	0,30
		1200	0,39
		1300	0,45
		1400	0,51
		1500	0,58
		1700	0,70
		1800	0,87
		1800 a 2200	0,95
MAMPOSTERÍA DE LADRILLOS Y BLOQUES MACIZOS			
Ladrillo cerámicos macizos		1600	0,81
		1800	0,91
		2000	1,10
Bloques de suelo cemento macizos		1800	0,62
Ladrillo cerámico hueco		1000	0,40
		1200	0,45
		1400	0,52
MATERIALES AISLANTES TÉRMICO			
Lana de vidrio		8 a 10	0,045
		11 a 14	0,043
		15 a 18	0,040
		19 a 30	0,037
		31 a 45	0,034
		46 a 100	0,033
		30 a 50	0,042
Lana mineral		51 a 70	0,040
		71 a 150	0,038
Perlita	Suelta	30 a 130	0,054
	Mortero de perlita con yeso	400	0,10
		500	0,12

		600	0,14
		700	0,18
	Mortero de perlita con cemento	300	0,088
		400	0,093
		500	0,12
		600	0,14
		700	0,18
	Poliestireno expandido en planchas	15	0,037
20		0,035	
25		0,033	
30		0,032	
Poliuretano (espumas rígidas)		30 a 60	0,024
Poliuretano proyectdo in situ		30 a 60	0,022

Tabla A3.1. Conductividad térmica de los materiales.

Bibliografía



Batríz Garzón (2007). "Arquitectura Bioclimática" Buenos Aires, Nobuko.

Da Casa Martín, F., Celis D'amico, F., & Echeverría Valiente, E. (2019). METODOLOGÍA PARA ELABORAR UNA CARTOGRAFÍA REGIONAL Y APLICAR ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS SEGÚN LA CARTA DE GIVONI. *Revista hábitat sustentable*, 9(2), 52-63.

Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres [en línea] Datos meteorológicos por localidad. Dirección URL: <<http://www.eeaoc.org.ar/agromet/index.php>> [consulta: 19 de abril de 2019]

Guerra Mengívar (2012). Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones. *Revista Ing. Innovación*, 5, 123-133.

IRAM 11549 (2002). Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario. Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires, Argentina.

IRAM 11601 (2002). Aislamiento térmico de edificios, métodos de cálculo. 3ª edición. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11603 (2012). Clasificación Bioambiental de la República Argentina. 3ª edición. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11604 (2001). Acondicionamiento térmico de edificios Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. 2ª edición. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11605 (1996). Aislamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Instituto Argentino de Normalización, Buenos Aires, Argentina.

IRAM 11625 (2000). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11659-2 (2007). Acondicionamiento térmico de edificios Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. 1ª edición. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Norma IRAM 11900 (2019) modificación N°1 a la Norma IRAM 11900:2017-12. Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

University of Oregon (Sin fecha). Solar Radiation Monitoring Laboratory. Sun path chart program. Recuperado el 9 de agosto de 2019 de <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>