

CALIBRACION EXPERIMENTAL DE UN INSTRUMENTO  
DE MEDIDA DE TEMPERATURA DE CIELO

Teresa Morell y Luis Saravia

INENCO<sup>#</sup>, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

Resumen

En el presente trabajo se describen los detalles constructivos y de calibración de un medidor de radiación nocturna sencillo basado en una propuesta de Buriot (1). Consta de un disco metálico negro al que se suelda una termocupla, que se encuentra sobre una semiesfera aislante de poliuretano expandido cubierto de una membrana de polietileno transparente con forma también semiesférica. Para su calibración se ha construido una cavidad que se puede mantener a baja temperatura mediante un baño enfriado de alcohol-agua en cuyo centro se coloca el instrumento. Un ventilador produce una corriente de aire a temperatura ambiente sobre el medidor. Se presentan las medidas realizadas y se comparan con estimaciones teóricas.

1. Introducción

El uso del cielo frío como un sumidero de calor para los cuerpos radiantes sobre la superficie de la tierra ofrece una técnica alternativa frente a los sistemas de enfriamiento convencional. Ello requiere una estimación precisa de la radiación neta que está dada por la diferencia entre el flujo emitido por una superficie y la radiación que viene de la atmósfera.

La distribución espectral del flujo de radiación térmica de la atmósfera sigue la distribución de cuerpo negro, en las regiones  $\lambda < 8 \mu$  y  $\lambda > 13 \mu$  pero en el intervalo espectral comprendido entre los  $8 \mu$  y  $13 \mu$  se aparta fuertemente correspondiendo el mismo a la zona de máxima transparencia conocida como "ventana atmosférica".

Es en razón de esa zona de emisividad débil que el flujo radiante no puede describirse espectralmente usando la conocida función de Planck. Existen dos modos de hacerlo globalmente, uno es definir un parámetro ficticio denominado temperatura de cielo que es la temperatura que posee un cuerpo negro cuyo flujo de radiación iguala al flujo de radiación atmosférico. El otro es suponer la atmósfera a la temperatura ambiente y definir una emisividad atmosférica menor que uno y que depende fuertemente de los parámetros climáticos.

En forma matemática se escribe:

$$\downarrow F = \sigma T_c^4 \quad \text{ó} \quad \downarrow F = \sigma \epsilon_s T_a^4$$

donde  $T_c$ ;  $T_a$  son la temperatura de cielo y la temperatura ambiente respectivamente  
 $\epsilon_s$ ; es la emisividad del cielo

Para latitudes medias la radiación emitida por la atmósfera es del orden de  $400 \text{ W/m}^2$ , mientras que la emitida por las superficies a enfriar es aproximadamente  $470 \text{ W/m}^2$ , dado que el enfriamiento a obtener resulta de la diferencia entre ambos flujos, su valor pequeño exige una estimación precisa puesto que un error del 5% en la medida de la radiación térmica atmosférica se traduce en un error del 30% en la energía útil de enfriamiento, al presente no se dispone en el país de ningún instrumento para efectuar tales medidas. Por ello se ha buscado construir un siguiendo un modelo sencillo (1) de acuerdo a lo propuesto en un trabajo anterior (2). En el presente trabajo se analizan los detalles constructivos del mismo y las etapas seguidas para obtener una curva de calibración a fin de poder efectuar medidas en la región.

2. Construcción del sensor

El sensor construido es similar al pro

puesto por Buriot (1) siendo un instrumento del tipo pyrradiometro neto (3) ya que mide térmicamente la radiación neta total, diferencia entre la incidente y la emitida, que llega a una superficie dada. Un esquema del aparato se muestra en la Fig. 1.

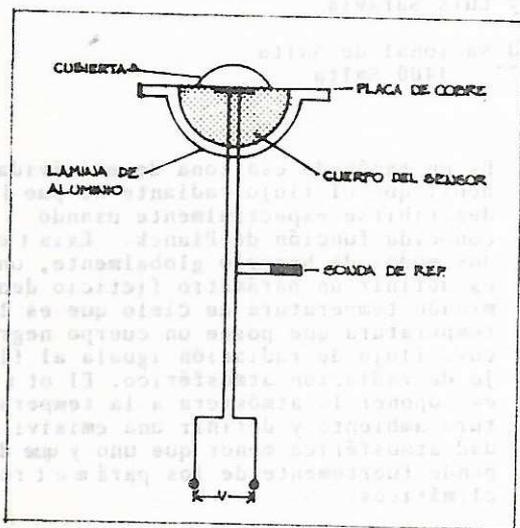


Fig. 1 - Esquema del sensor y sus partes

Una placa ennegrecida de cobre de 0,8 mm de espesor y 20 mm de diámetro constituye el sensor. Ella se encuentra aislada por debajo por una semiesfera de poliestireno expandido que forma el cuerpo del sensor. Las ganancias convectivas son reducidas usando una cubierta hemisférica de polietileno que transmite aproximadamente un 75% de la radiación infrarroja. Su forma hemisférica evita efectos de ángulos de incidencia. La temperatura de la chapa de cobre se detecta con una termocupla de cobre-constantán, una de cuyas uniones está soldada a la placa a temperatura  $T_R$  mientras que la otra está a temperatura ambiente  $T_a$  para lo cual se la coloca en una caja perforada que hace las veces de cuerpo del aparato.

La cubierta es uno de los detalles constructivos más delicados. En una versión anterior (2), se utilizó una lámina plana, pero ello trae problemas de ángulos de incidencia.

Para conseguir la forma hemisférica propuesta en el modelo original se hicieron múltiples ensayos experimentales. La técnica usada finalmente, consiste en inflar con gas una lámina circular de polietileno, la que se fi-

ja por medio de una arandela sobre un soporte metálico plano, el radio de la lámina es igual al radio del hemisferio que se quiere obtener.

El gas fluye por un pequeño orificio situado en el centro del soporte metálico, muy próximo al cual se coloca una delgada placa de 2 cm de diámetro, para lograr una mejor distribución del flujo.

La altura necesaria para la cubierta, se alcanza repitiendo el proceso varias veces, cuidando extraer el gas antes de cada reiteración.

La cubierta obtenida presenta un espesor prácticamente uniforme, no llegando a ser deformada por los vientos.

### 3. Calibración del instrumento

Existen dos métodos para la calibración: exponer al instrumento a un cuerpo negro de temperatura  $T_C$  conocida o compararlo con un pyrgeómetro standard. Si bien lo más conveniente es llevar adelante ambos procedimientos comparando los resultados, en este caso sólo se usó el primer método por falta de standard de comparación.

El sistema de calibración desarrollado a través de varios ensayos se esquematiza en la Fig. 2, constando de los siguientes elementos:

- 1) Una caja metálica cúbica con la pared interna negra que simula el cielo frío. Para lograr la temperatura adecuada circula en la caja mediante una bomba una solución alcohol-agua que ha sido enfriada anteriormente con una mezcla frigorífica. Cuatro termocuplas distribuidas dan cuenta de la uniformidad de temperatura.
- 2) Una caja de madera que sostiene el cielo simulado y el instrumento.
- 3) Un sistema de ventilación que permite mantener la temperatura del aire alrededor del instrumento a su valor ambiente, usualmente bastante más alto que la temperatura del cielo. El aire entra impulsado por dos ventiladores, asciende en la caja rodeando al instrumento y sale afuera por dos orificios colocados en la parte superior del cielo ficticio. Esta circulación ascendente evita que el aire ambiente sea enfriado por contacto con la chapa fría del cielo. Antes de los ventiladores se encuentran dos calentadores con el fin de obtener distin-

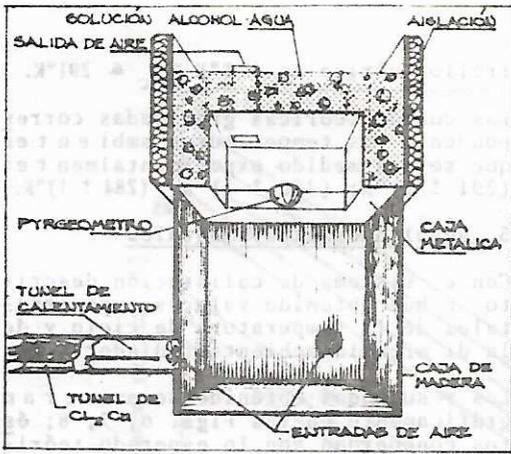


Fig. 2 - Sistema de calibración

tas temperaturas de entrada.

- 4) Un sistema de presecado del aire con  $Cl_2Ca$  con el fin de evitar la condensación de agua sobre el simulador de cielo a baja temperatura. Se logra un descenso de humedad relativa del orden del 20%.

Se midió experimentalmente el tiempo que demora el sensor en alcanzar el equilibrio térmico con el cielo, la curva Fig. 3 reveló que la temperatura se mantenía estable a los 20'; de

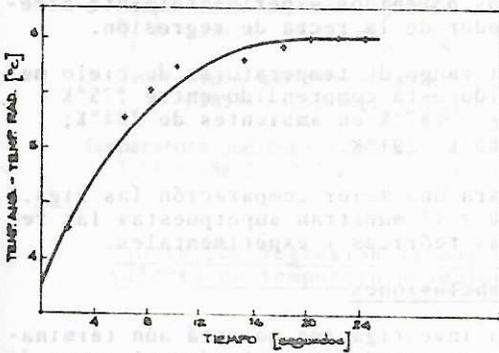


Fig. 3 - Variación de la Diferencia de Temperatura-Ambiente-Radiador en función del Tiempo

modo que las lecturas se efectuaron cada media hora.

#### 4. Modelo teórico

El principio de medida que vamos a exponer esquemáticamente se deduce del estudio de la ecuación del balance energético del aparato.

Los cambios radiativos entre el sen-

sor y la atmósfera a través de la cubierta de polietileno pueden plantearse como se muestra en la Fig. 4.

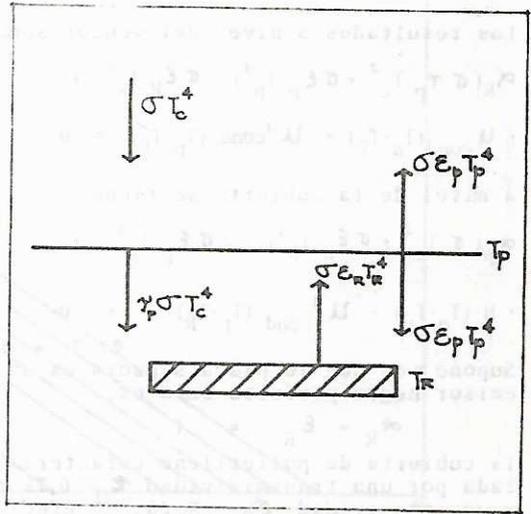


Fig. 4 - Esquema de los cambios radiativos

De modo que el intercambio radiativo se puede escribir como sigue:

a nivel del sensor:

$$Q_R = \alpha_R (\sigma \tau_p T_C^4 + \sigma \epsilon_p T_p^4) - \sigma \epsilon_R T_R^4$$

a nivel de la cubierta de polietileno:

$$Q_R = \alpha_p (\sigma T_C^4 + \sigma \epsilon_R T_R^4) - 2 \sigma \epsilon_p T_p^4$$

Simultáneamente tiene lugar además un intercambio convectivo entre la cubierta de polietileno y el ambiente estádo por:

$$Q_c = H(T_a - T_p)$$

Donde el coeficiente de convección H es función de la velocidad del flujo de aire sobre la cubierta.

Una transferencia conductiva entre la placa del sensor y el ambiente a través del cuerpo del aparato dado por:

$$Q_{cond} = U_{cond} (T_a - T_R)$$

La cubierta de polietileno reduce las ganancias convectivas entre la placa y el ambiente, pero un intercambio conductivo tiene lugar a través del aire acumulado entre ambas y que puede expresarse del modo siguiente:

$$Q_{cond} = U_{cond}^a (T_p - T_R)$$

El balance energético total se obtiene entonces sumando las distintas componentes

correspondientes a los diferentes procesos de intercambio energético.

Los resultados a nivel del sensor son:

$$\alpha_R (\sigma \tau_p T_c^4 + \sigma \epsilon_p T_p^4) - \sigma \epsilon_R T_R^4 + U_{\text{cond}}(T_a - T_R) + U^{\text{a cond}}(T_p - T_R) = 0$$

a nivel de la cubierta se tiene:

$$\alpha_p (\sigma T_c^4 + \sigma \epsilon_R T_R^4) - \sigma \epsilon_p T_p^4 + H(T_a - T_p) - U^{\text{a cond}}(T_p - T_R) = 0$$

Suponemos que la placa sensora es un emisor negro perfecto esto es:

$$\alpha_R = \epsilon_R = 1$$

la cubierta de polietileno caracterizada por una transmisividad  $\tau_p = 0,75$  y una emisividad  $\epsilon_p = 0,25$ . Efectuamos una estimación aproximada de los coeficientes conductivos y convectivos, dado que las geometrías y las velocidades del aire son conocidas.

Si las temperaturas de cielo ( $T_c$ ) y el ambiente ( $T_a$ ) son conocidas, las ecuaciones anteriores forman un sistema no lineal de dos ecuaciones con dos incógnitas las temperaturas de la cubierta ( $T_p$ ) y del radiador ( $T_R$ ); que puede resolverse con algún método iterativo de cálculo numérico.

De este modo es posible conocer la temperatura del sensor para un determinado par de temperaturas ambiente y cielo.

Estamos interesados en estudiar que tipo de relación funcional liga la temperatura de cielo a la diferencia temperatura ambiente-temperatura del radiador ( $T_a - T_R$ ), manteniendo constante la temperatura ambiente.

Resuelvo el sistema anterior mediante el método de Newton y graficando los valores de la temperatura de cielo en función de la diferencia ambiente-radiador se obtuvo como resultado una familia paramétrica de recta de pendiente negativa, puesto que una temperatura de cielo próxima al ambiente implica una diferencia próxima a cero y recíprocamente temperaturas de cielo muy bajas se manifiestan en diferencias mayores. Los resultados teóricos y las ecuaciones correspondientes a diferentes temperaturas ambiente se muestran en la Fig. 5. El rango de temperaturas de cielo que abarca el desa-

rollo teórico es  $273^\circ\text{K} \leq T_c \leq 291^\circ\text{K}$ .

Las curvas teóricas graficadas corresponden a las temperaturas ambiente que se han medido experimentalmente:  $(291 \pm 1)^\circ\text{K}$ ;  $(289 \pm 1)^\circ\text{K}$  y  $(284 \pm 1)^\circ\text{K}$ .

## 5. Resultados experimentales

Con el sistema de calibración descrito se han obtenido valores experimentales de la temperatura de cielo y de la diferencia ambiente-radiador.

Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en las Figs. 6, 7, 8; éstos concuerdan con lo esperado teóricamente; es decir muestran que existe una dependencia lineal de la temperatura de cielo en función de la diferencia ambiente-radiador. La recta está trazada desde los valores experimentales mediante un programa de regresión lineal aplicando la técnica de cuadrados mínimos. Los errores en las lecturas de las medidas de temperatura de cielo son de  $\pm 1^\circ\text{C}$  y en la lectura de la diferencia es de  $\pm .5^\circ\text{C}$ .

Sin embargo no se ha logrado suficiente uniformidad en la distribución de temperaturas en la caja metálica, lo que da una mayor dispersión de los puntos obtenidos experimentalmente alrededor de la recta de regresión.

El rango de temperaturas de cielo medido está comprendido entre  $275^\circ\text{K}$   $T_c = 287^\circ\text{K}$  en ambientes de  $284^\circ\text{K}$ ;  $289^\circ\text{K}$ ;  $291^\circ\text{K}$ .

Para una mejor comparación las Figs. 9, 10 y 11 muestran superpuestas las rectas teóricas y experimentales.

## Conclusiones

La investigación no está aún terminada es importante extender el rango de temperaturas de cielo a valores por debajo de cero que son las esperadas en las regiones de atmósferas claras; y extender las temperaturas ambiente a valores mayores.

Es necesario también mejorar las distribuciones de temperatura en la caja metálica y en el ambiente, los primeros resultados obtenidos muestran que su dispersión es mayor que el error de lectura en las medidas.

Estos primeros resultados muestran un buen acuerdo entre las predicciones del modelo teórico y los valores experimentales.

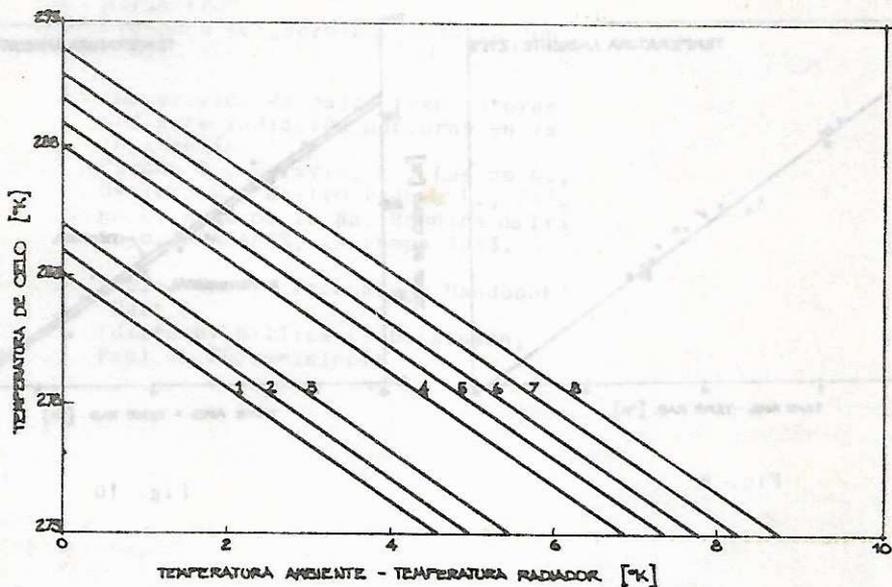


Fig. 5 - Resultado del modelo teórico

1- Temperatura ambiente = 283°K:  
 $T_c^{\circ K} = 283.1 - 2.2 \times (T_a - T_R)$

2- Temperatura ambiente = 284°K:  
 $T_c^{\circ K} = 284.1 - 2.2 \times (T_a - T_R)$

3- Temperatura ambiente = 285°K:  
 $T_c^{\circ K} = 285.1 - 2.2 \times (T_a - T_R)$

Temperatura ambiente = 288°K:  
 $T_c^{\circ K} = 288.2 - 2.2 \times (T_a - T_R)$

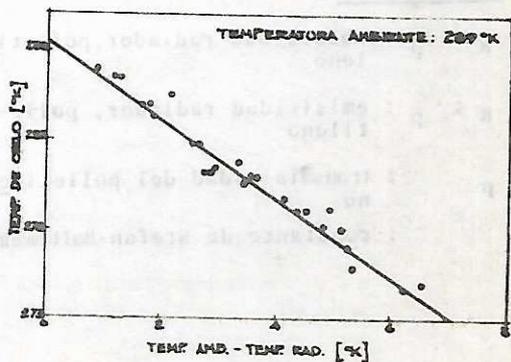
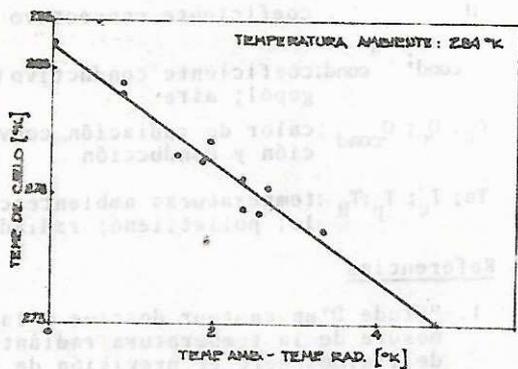
5- Temperatura ambiente = 289°K:  
 $T_c^{\circ K} = 289.2 - 2.2 \times (T_a - T_R)$

6- Temperatura ambiente = 290°K:  
 $T_c^{\circ K} = 290.2 - 2.2 \times (T_a - T_R)$

7- Temperatura ambiente = 291°K:  
 $T_c^{\circ K} = 291.2 - 2.2 \times (T_a - T_R)$

8- Temperatura ambiente = 292°K:  
 $T_c^{\circ K} = 292.3 - 2.2 \times (T_a - T_R)$

Ajuste por regresión lineal de las medidas experimentales para distintos valores de temperatura ambiente



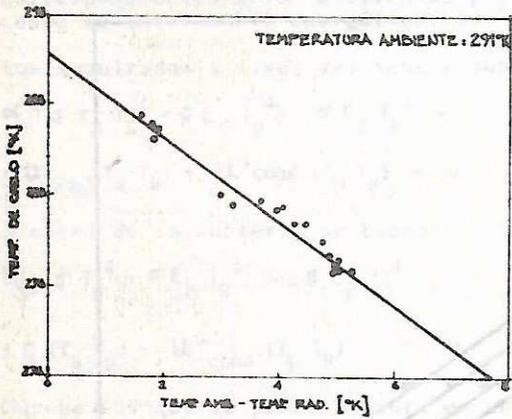


Fig. 8

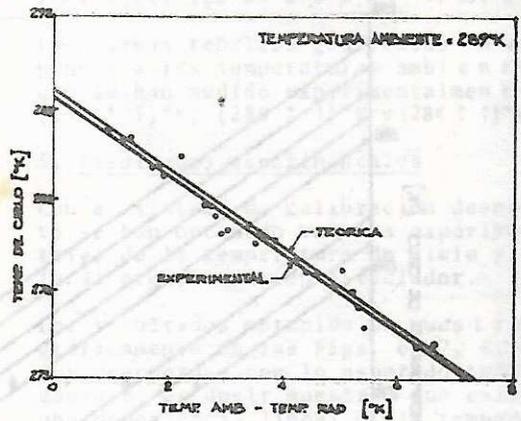


Fig. 10

Comparación de los resultados teóricos y experimentales

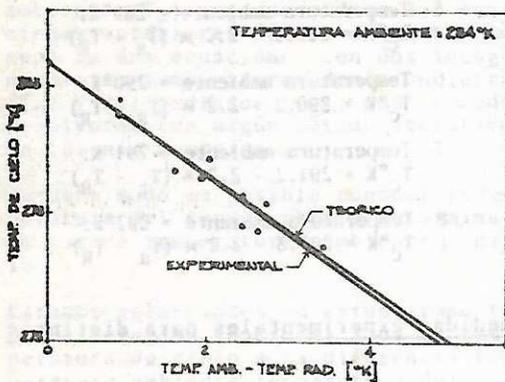


Fig. 9

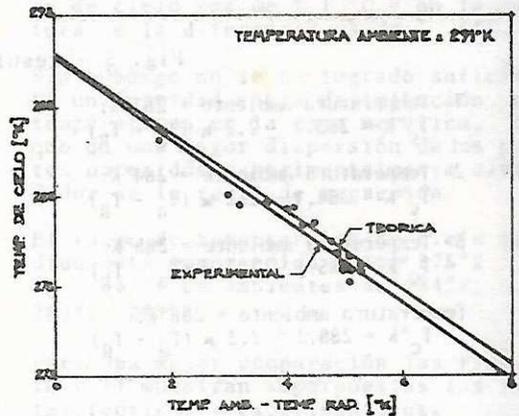


Fig. 11

#### Nomenclatura

$R$  ;  $p$  : absorbidad radiador, polietileno  
 $R$  ;  $p$  : emisividad radiador, polietileno  
 $p$  : transmisividad del polietileno  
 $\sigma$  : constante de Stefan-Boltzmann

$h$  : coeficiente convectivo

$\text{cond}^a$  : coeficiente conductivo ter gopol; aire

$Q_R$ ;  $Q_C$ ;  $Q_{\text{cond}}$  : calor de radiación, convección y conducción

$T_a$ ;  $T_c$ ;  $T_p$ ;  $T_R$  : temperaturas ambiente; cielo; polietileno; radiador

#### Referencias

1. "Etude D'un capteur destine a la mesure de la temperatura radiante de l'atmosphere et prevision de ce

parametre"  
Groupe D'ectothermique Solaire, Jun,  
1981.

2. "Generación de bajas temperaturas mediante radiación nocturna en la zona andina"  
Cardón L., Saravia, L., Lesino G., Ovejero G., Castro Padula L., Cadeña C. Acta de la 8a. Reunión de Trá bajo de ASADES, La Pampa 1983.

3. "Solar Energy Technology Handbook"  
Part A.  
Edited by William C. Dickinson,  
Paul N. Cheremisinoff.

Resumen

En este artículo se describen los principios de diseño de edificios de mediana escala de edificios para el clima de zonas semi-áridas con alturas de las montañas de altura (1, 2, 3, 4).

El diseño del edificio que se describe aquí, fue desarrollado en un estudio de campo en el valle de los Andes, en el sur de Chile, en los alrededores de la ciudad de Temuco. Se detallan las características de diseño utilizadas para las paredes y se describen los valores obtenidos.

Características del edificio

El edificio está emplazado a 1000 m de altura en un pueblo de la zona de transición hacia el norte y es un edificio de mediana escala (1000 m<sup>2</sup>) con un patio central y una gran terraza. El edificio es de primera instancia y se construyó en un terreno de 1000 m<sup>2</sup> con una superficie adicional de vivienda para un total de 2000 m<sup>2</sup>. El edificio se muestra en las Fig. 1 y 2.

Los principales edificios adosados son:

1. Edificio de oficinas administrativas de planta de 1000 m<sup>2</sup> con un patio central.

2. Edificio de viviendas de planta de 1000 m<sup>2</sup> con un patio central y una gran terraza.

3. Edificio de viviendas de planta de 1000 m<sup>2</sup> con un patio central y una gran terraza.

4. Edificio de viviendas de planta de 1000 m<sup>2</sup> con un patio central y una gran terraza.

RESUMEN

En este artículo se describen los principios de diseño de edificios de mediana escala de edificios para el clima de zonas semi-áridas con alturas de las montañas de altura (1, 2, 3, 4).

El diseño del edificio que se describe aquí, fue desarrollado en un estudio de campo en el valle de los Andes, en el sur de Chile, en los alrededores de la ciudad de Temuco. Se detallan las características de diseño utilizadas para las paredes y se describen los valores obtenidos.

El diseño del edificio que se describe aquí, fue desarrollado en un estudio de campo en el valle de los Andes, en el sur de Chile, en los alrededores de la ciudad de Temuco. Se detallan las características de diseño utilizadas para las paredes y se describen los valores obtenidos.

El diseño del edificio que se describe aquí, fue desarrollado en un estudio de campo en el valle de los Andes, en el sur de Chile, en los alrededores de la ciudad de Temuco. Se detallan las características de diseño utilizadas para las paredes y se describen los valores obtenidos.

Características del edificio

El edificio está emplazado a 1000 m de altura en un pueblo de la zona de transición hacia el norte y es un edificio de mediana escala (1000 m<sup>2</sup>) con un patio central y una gran terraza. El edificio es de primera instancia y se construyó en un terreno de 1000 m<sup>2</sup> con una superficie adicional de vivienda para un total de 2000 m<sup>2</sup>. El edificio se muestra en las Fig. 1 y 2.

Los principales edificios adosados son:

1. Edificio de oficinas administrativas de planta de 1000 m<sup>2</sup> con un patio central.

2. Edificio de viviendas de planta de 1000 m<sup>2</sup> con un patio central y una gran terraza.

3. Edificio de viviendas de planta de 1000 m<sup>2</sup> con un patio central y una gran terraza.

4. Edificio de viviendas de planta de 1000 m<sup>2</sup> con un patio central y una gran terraza.