

EFFECTO DE ISLA CALORICA EN SANTIAGO. RESULTADOS PRELIMINARES.

Patricio Aceituno G.
Pablo Ulriksen U.

Departamento de Geofísica. Universidad de Chile.
Casilla 2777. Santiago-Chile.

RESUMEN

Se presentan los resultados de mediciones de temperatura a través de la ciudad realizadas en un período invernal.

Las observaciones diurnas, no muestran la presencia de un núcleo más cálido en el centro de la ciudad. Por el contrario, durante la noche y en presencia de cielos despejados o de escasa nubosidad se detectó un núcleo cálido con temperaturas que exceden en 3 a 4°C la del ambiente suburbano. Se advierte también durante la noche un marcado incremento de la temperatura en la altura en el borde de la ciudad, donde la pendiente andina se hace importante. La pérdida radiativa superficial nocturna asociada a una acumulación de aire frío que fluye ladera abajo pueden explicar este fenómeno.

ABSTRACT

HEAT ISLAND EFFECT IN SANTIAGO. SOME PRELIMINARY RESULTS

Results of winter temperature measurements through the city are presented.

Diurnal values do not show a warm core downtown. On the contrary, nighttime observations with almost clear skies do show the warm core with temperature anomalies of 3°C to 4°C.

During the night, in the eastern side of the city where the terrain slope becomes important, temperature increases noticeably with height. The surface nocturnal radiative loss and the cold air drainage can explain this fact.

1. INTRODUCCION.-

Las ciudades presentan temperaturas mayores que el entorno suburbano, originando un núcleo cálido que coincide con las zonas de mayor densidad residencial, comercial, industrial y vehicular. Este fenómeno ha sido denominado

"isla calórica" urbana y ha sido estudiado en ciudades de diferentes tamaños (por ej.: Chandler 1962, Bornstein 1968, Kopec, Oke 1971, Hage 1972).

El efecto de isla calórica es complejo en su origen. La diferencia térmica entre la ciudad y su entorno se puede explicar por un desigual balance de energía a nivel de superficie. En la ciudad éste es afectado tanto por causas urbanas sobre la atmósfera misma (mayor concentración de partículas y gases contaminantes, menor intensidad de viento, radiación solar y evaporación, etc.) como por la presencia misma de la ciudad (emisión de calor, mayor rugosidad promedio de la superficie, diferente índice de reflexión a la radiación solar, etc.).

El núcleo cálido suele destacarse mejor en las noches invernales existiendo además una relación proporcional entre la anomalía térmica de la ciudad y el tamaño de ésta (Oke, 1972).

Este efecto no había sido estudiado en la ciudad de Santiago. En este trabajo se describen algunas mediciones experimentales de temperatura a través de la ciudad realizadas durante 1976, con el fin de estudiar las variaciones horizontales del campo térmico urbano. Se describen los métodos de medición y se presentan los resultados obtenidos.

2. MÉTODOS DE DE MEDICION.-

Los perfiles de temperatura del aire a través de la ciudad se hicieron utilizando un vehículo y midiendo en puntos del recorrido fijados de antemano.

Se realizaron cinco experiencias de medición entre el 30 de Junio y el 9 de Septiembre de 1976, tres de ellas durante la noche y dos en la tarde a las horas de mayor calentamiento. En la Tabla 1 se resumen las características principales de cada experiencia. Los trayectos a través de la ciudad están indicados en la Fig. 1 y Anexo 1.

Debido al carácter experimental de las mediciones, el método fue cambiado en el transcurso del programa. Las tres primeras son nocturnas y corresponden a perfiles orientados aproximadamente en la dirección E-W. Las mediciones de temperatura en cada punto fueron realizadas con aspirósicrómetro portátil. Las dos últimas experiencias fueron realizadas durante el día a lo largo

TABLA 1. CARACTERISTICAS DE LOS TRAYECTOS.

Exp. N°	Fecha	Duración Recorrido	Recorrido	Tipo de Medición	Estado	Observaciones
1	30 Junio 1976	22:30 - 01:00	E - W	Aspirosicrómetro manual.	Despejado	
2	9 Julio 1976	20:15 - 21:14	E - W	Aspirosicrómetro manual.	Calma y cielos despejados.	
3	9 Julio 1976	23:15 - 01:40	E - W	Aspirosicrómetro manual fijado sobre el techo del vehículo, con ventilación forzada por el movimiento.	Nubosidad parcial alta.	
4	20 Ago 1976	14:00 - 17:00	N - S	Sistema de medición en base a termocupla instalada en una protección con ventilación forzada a 2 m sobre el suelo.	Despejado.	Termógrafo de referencia instalado en un extremo de la ruta.
5	9 Sep. 1976	14:40 - 17:30	N - S	Idem.	Nubosidad alta y media	Idem.

de trayectos orientados N-S y se utilizó para las mediciones un sistema de termocuplas protegidas de la radiación solar por una pantalla con aspiración forzada, descrita en el Anexo 2.

La duración de cada experiencia depende de la longitud del trayecto, el número de puntos de observación (en los cuales hay detención del vehículo) y la velocidad del vehículo. Las experiencias tienen duraciones cercanas a las 2 horas, período suficientemente largo para producir variaciones en el tiempo del campo térmico. Debido a esto, los trayectos se realizaron en ambos

sentidos, duplicando las mediciones en cada punto. Se puede calcular de esta manera la tasa de variación de la temperatura con el tiempo y ajustar las mediciones a una cierta hora. En las dos últimas experiencias se instaló además como referencia un termógrafo en un extremo del trayecto.

3. RESULTADOS.-

Los resultados obtenidos en las cinco experiencias se presentan en las Figs. 2 a 7, donde se muestra la variación de la temperatura a través de la ciudad. Los puntos de medición han sido proyectados sobre líneas de dirección aproximada W-E en el caso de las tres primeras experiencias y N-S en las dos últimas, de modo de evitar incluir las variaciones de distancia transversal al sentido principal de cada trayectoria, producidas por los sentidos de circulación de las calles recorridas. En las figuras se incluye también la variación de la altura del terreno a lo largo de la trayectoria.

A continuación se analizan brevemente los resultados de cada experiencia.

Experiencia N° 1.

Las mediciones se han referido a las 22:30 horas usando valores medidos en un mismo punto (Estación Central). La Fig. 2 muestra un núcleo cálido en el sector central (Plaza Bulnes - Vicuña Mackenna) y otro relativamente menor en el sector de Estación Central. En la parte alta del recorrido (Aeropuerto Tobalaba y siguientes) aparece un incremento de temperatura de unos 3°C en una distancia horizontal poco mayor que 2 Km, mostrando el efecto de una inversión de temperatura y la posible acumulación de aire frío (que puede haber descendido ladera abajo) en el sector de Larraín/Canal San Carlos.

Aunque la forma general del perfil muestra un incremento de la temperatura desde la periferia hacia el centro, existen singularidades como un mínimo relativo entre Estación Central y Plaza Bulnes. No existen antecedentes adicionales que permitan explicar esas fluctuaciones térmicas pudiendo corresponder, por otra parte, a errores de observación o efectos térmicos muy locales.

En términos generales, se puede hablar de una diferencia cercana a los 4°C entre el núcleo cálido central y el área suburbana. Las condiciones meteorológicas generales corresponden a cielos despejados y viento débil.

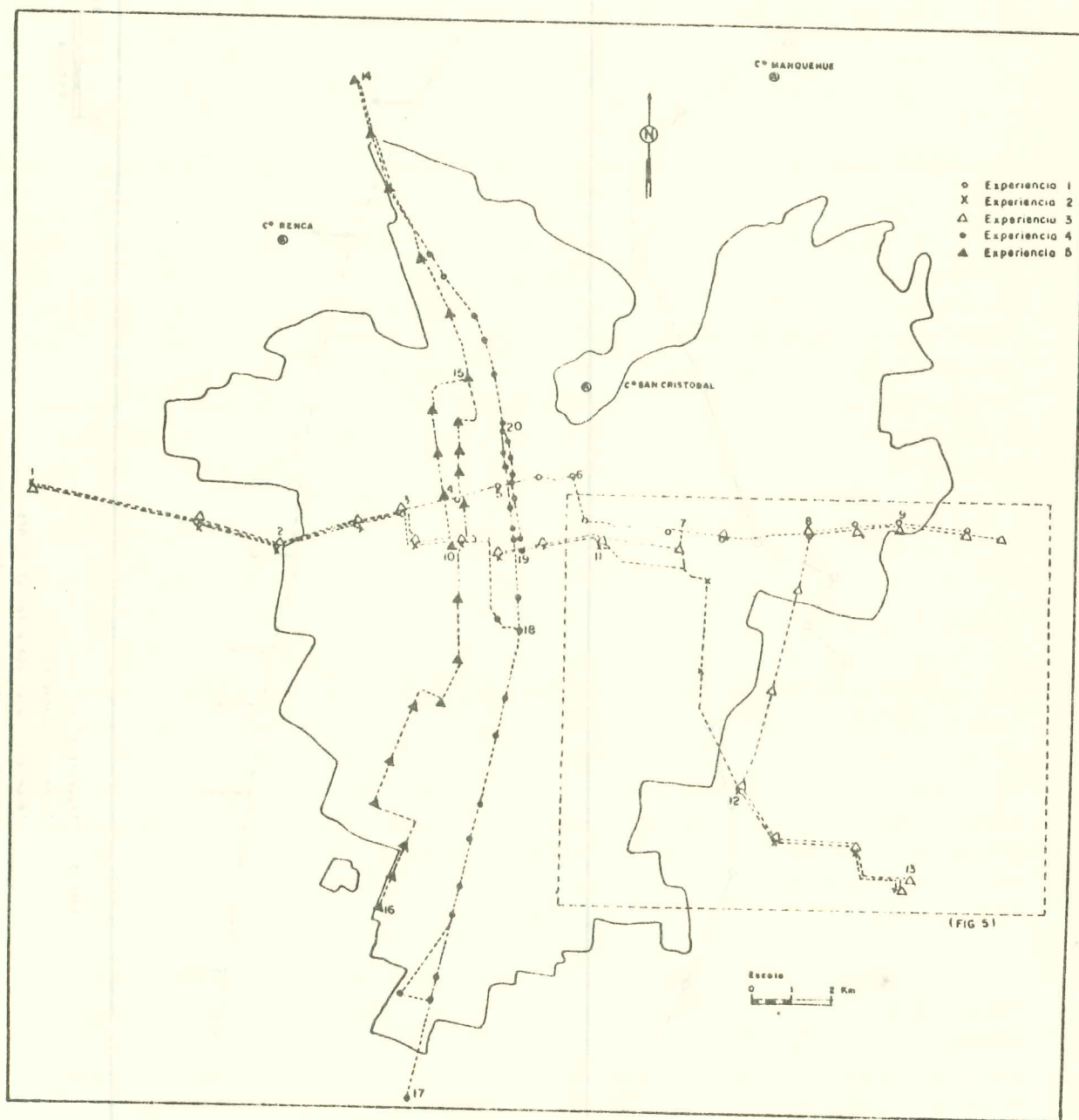


FIG. 1 Trayectos realizados.

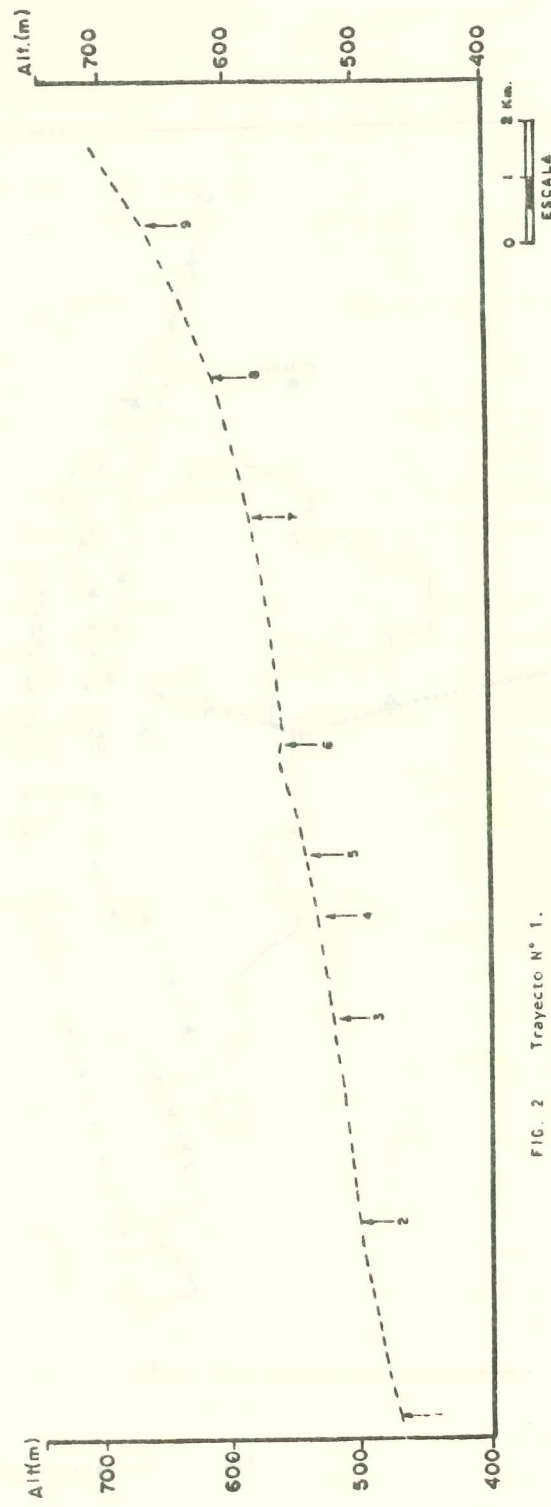
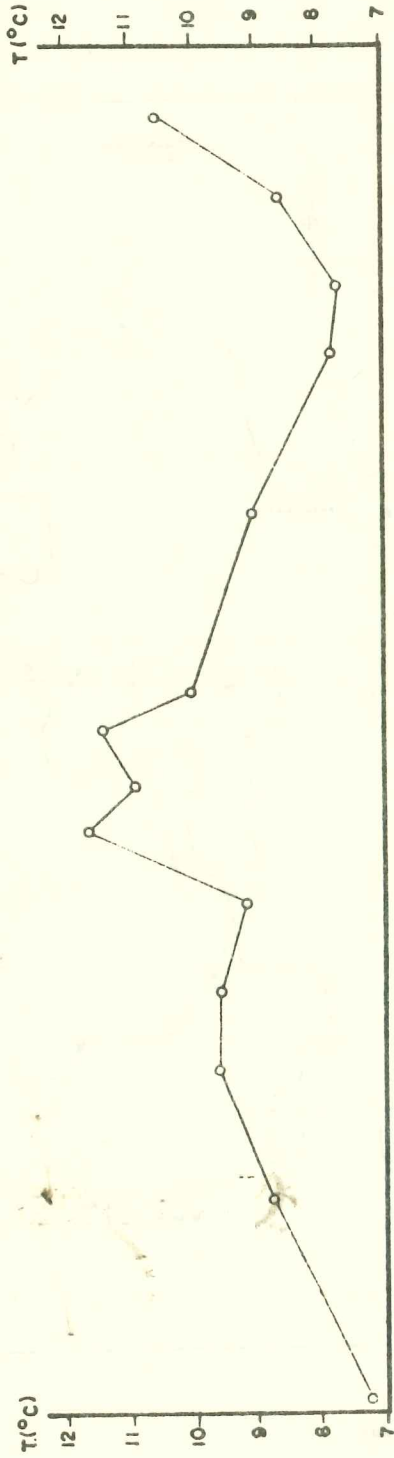


FIG. 2 Trayecto N° 1.
Fecha: 30 Junio de 1976.
Temperatura ajustada a las 22:30 hrs.
Los números señalan la posición en el trayecto

Experiencia N° 2.

Esta experiencia y la N° 3 se desarrollaron durante la misma noche, con temperaturas significativamente inferiores a las de la experiencia N° 1.

Las condiciones meteorológicas variaron a lo largo del período de medición comenzando con cielos despejados y apareciendo posteriormente nubosidad alta (asociada probablemente a un centro de baja presión en la zona central que se desplaza hacia el Sur).

La Fig. 3 muestra los resultados de las mediciones a lo largo de la trayectoria, orientada aproximadamente E-W dentro de la ciudad y luego hacia el SE en el sector suburbano oriental (Fig. 1). Se midió 16 puntos, ajustándose las observaciones a las 21 hrs. considerando la variación temporal en puntos donde se duplicaron las observaciones a diferentes horas.

Los resultados muestran una isla calórica urbana que excede en aproximadamente 3.5°C al entorno suburbano ubicado hacia el W de la ciudad. En el sector oriente se observa una disminución marcada de temperatura, de unos 6°C con respecto al centro de la ciudad, y que se debe posiblemente a la acumulación de aire frío que ha descendido por las laderas cordilleranas. El aumento de la temperatura con la altura se aprecia notablemente en el sector oriente alto.

Experiencia N° 3.

Esta experiencia fue realizada durante la misma noche de la experiencia anterior y consiste en un recorrido por el sector sur oriente de la ciudad, unido a otro de orientación E-W (Fig. 1).

Se fijó un aspirósicrómetro de mano horizontalmente sobre el techo del vehículo, con ventilación forzada por el movimiento. Las lecturas se hicieron en puntos prefijados de antemano. Debido a la constante de tiempo del instrumento y a la velocidad del vehículo, el valor leído puede representar las condiciones existentes hasta unos 0,5 Km antes del punto de lectura.

La Fig. 4 muestra la distribución de temperaturas a lo largo del trazo de orientación E-W con 21 puntos de medición. No se ha hecho una corrección de los valores a un instante dado, pues la variación en el tiempo que presentan las temperaturas medidas en los mismos puntos es pequeña y poco sistemática (posiblemente por el aumento de nubosidad alta durante la experiencia).

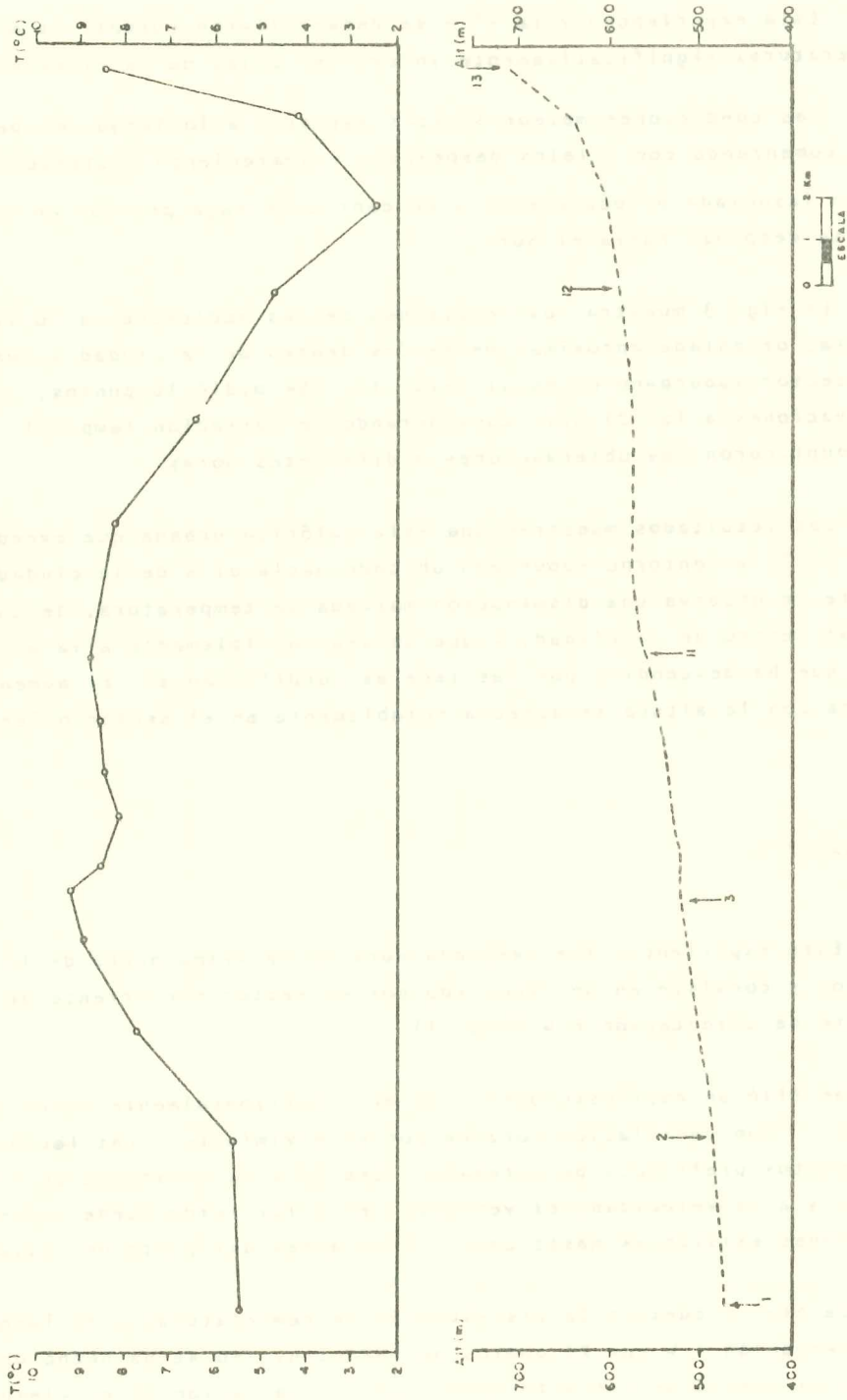


FIG. 3 Trayecto N° 2.
 Fecha: 5 de Julio de 1976.
 Temperatura ajustada a las 21:00 hrs.
 Los números señalan la posición en el trayecto según Fig. 1.

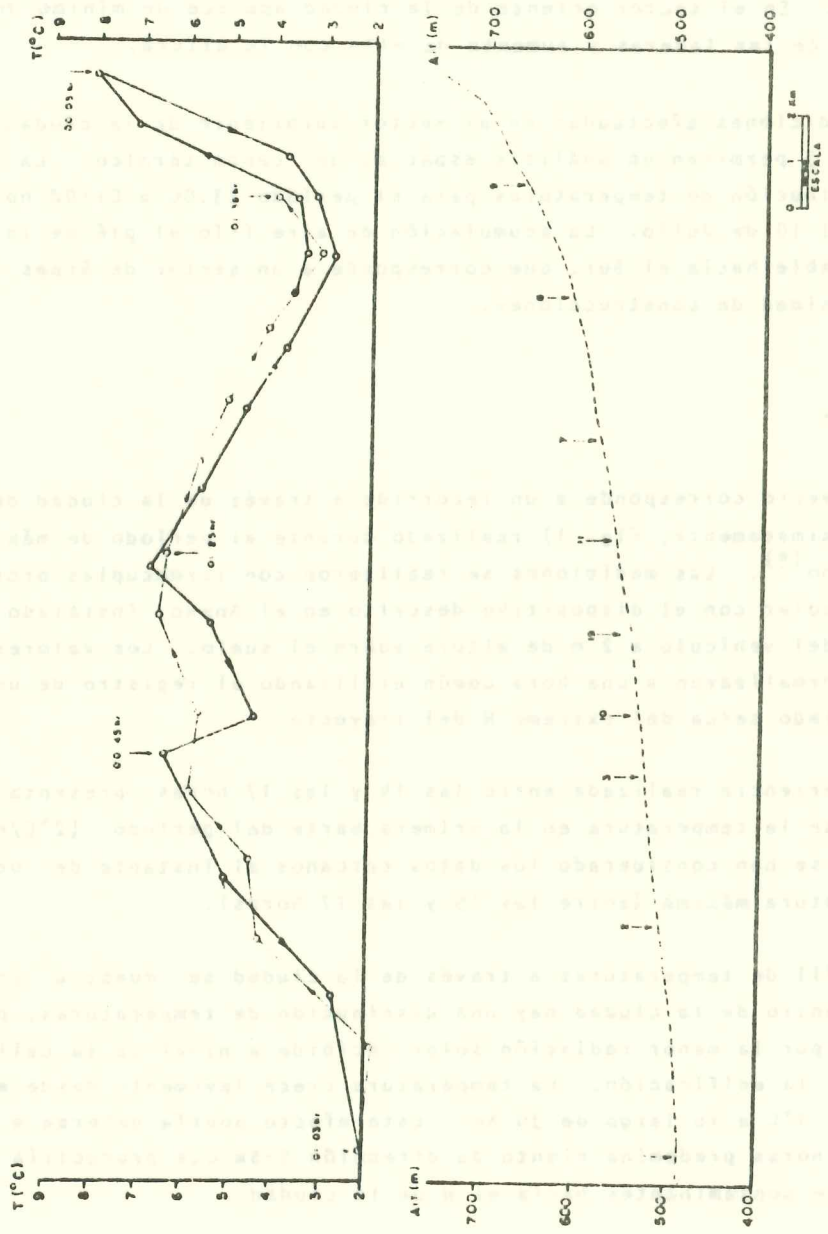


FIG. 4 Trayecto N° 3.

Fecha: 10 de Julio de 1976.

No se ajustó la temperatura a una hora común. La hora se indica en algunos puntos de la curva. Los números señalan la posición en el trayecto según Fig. 1.

La distribución general de temperaturas es similar a la experiencia anterior. El núcleo cálido urbano presenta temperaturas que sobrepasan en 4°C a los valores del entorno rural al W de la ciudad. Algunos sectores más fríos en el centro corresponden a zonas de poco tránsito vehicular y baja densidad de edificaciones. En el sector oriente de la ciudad aparece un mínimo de temperaturas al pié de las laderas y aumento de ella con la altura.

Las mediciones efectuadas en el sector suroriente de la ciudad en las experiencias 2 y 3 permiten un análisis espacial del campo térmico. La Fig. 5 muestra la distribución de temperaturas para el período 23:00 a 01:00 hora de la noche del 9 al 10 de Julio. La acumulación de aire frío al pié de la cordillera es más notable hacia el Sur, que corresponde a un sector de áreas verdes con una baja densidad de construcciones.

Experiencia N° 4.

El trayecto corresponde a un recorrido a través de la ciudad de orientación N-S (aproximadamente, Fig. 1) realizado durante el período de máximo calentamiento diurno^(*). Las mediciones se realizaron con termocuplas protegidas de la radiación solar con el dispositivo descrito en el Anexo, instalado en la parte delantera del vehículo a 2 m de altura sobre el suelo. Los valores de temperatura se normalizaron a una hora común utilizando el registro de un termohigrógrafo instalado cerca del extremo N del trayecto.

La experiencia realizada entre las 14 y las 17 horas, presenta un crecimiento rápido de la temperatura en la primera parte del período ($2^{\circ}\text{C}/\text{hora}$) por lo cual sólo se han considerado los datos cercanos al instante de ocurrencia de la temperatura máxima (entre las 15 y las 17 horas).

El perfil de temperaturas a través de la ciudad se muestra en la Fig. 6. En el centro de la ciudad hay una disminución de temperaturas, producida probablemente por la menor radiación solar recibida a nivel de la calle debido a la altura de la edificación. La temperatura crece levemente desde el S hacia el N, en unos 3°C a lo largo de 30 Km. Este efecto podría deberse a la ciudad, pues a esas horas predomina viento de dirección S-SW que produciría un penacho térmico y de contaminantes hacia el N de la ciudad.

(*) Se observaron cielos despejados en todo el período de mediciones y temperaturas cercanas a los 25°C .

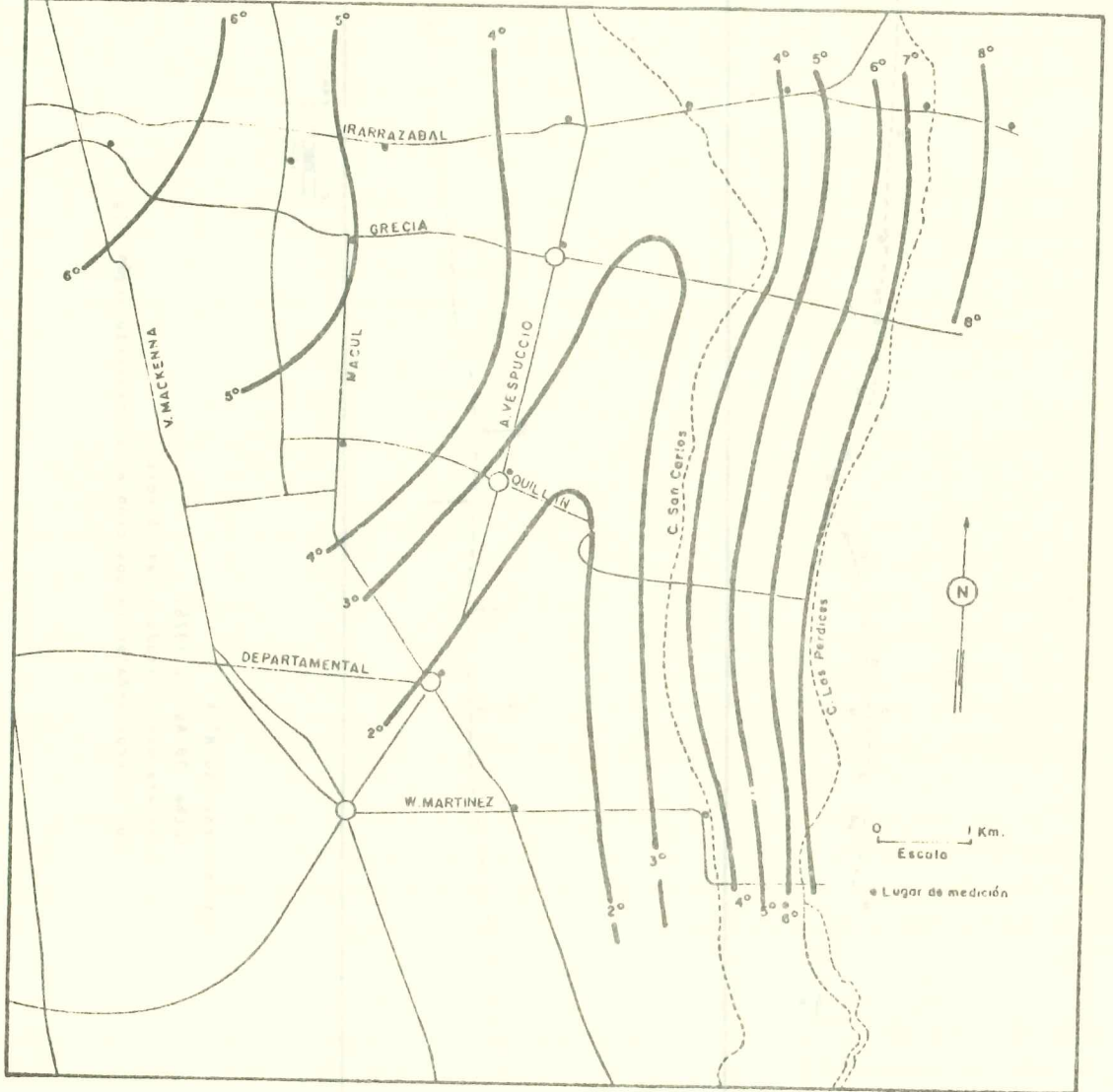


FIG. 5 Campo térmico (°C) en el sector sur-oriente de Santiago en la noche del 9 al 10 de Julio de 1976.

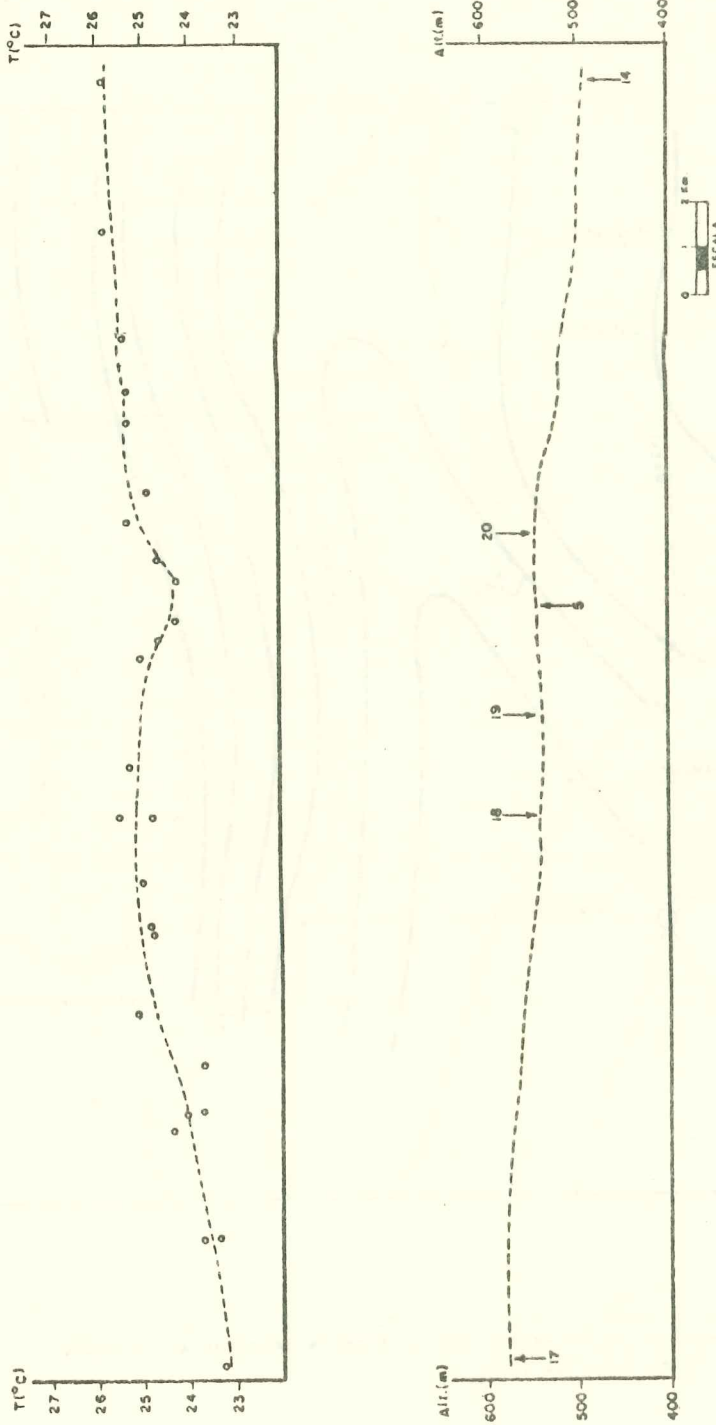


Fig. 6 Trayecto N° 4
 fecha: 20 Agosto 1976.
 Temperatura ajustada a las 16 horas.
 Los números señalan la posición en el trayecto según Fig. 1.

Experiencia N° 5.

Este trayecto también corresponde a uno N-S realizado en un día despejado y en horas cercanas a la de observación de la máxima temperatura. Los datos fueron normalizados a esa hora utilizando el registro de un termógrafo instalado en el extremo norte del trayecto. Al igual que la experiencia anterior las condiciones meteorológicas fueron buenas, presentándose cielos despejados (predominio de condiciones anticiclónicas). La temperatura máxima fue menor en este caso alcanzando unos 17.5°C .

El trayecto está desplazado hacia el W del centro de la ciudad (Fig. 1). Los resultados (Fig. 7) son similares al caso anterior apreciándose un ligero aumento de la temperatura de S a N. En esta ocasión no aparecen efectos especiales en el centro de la ciudad.

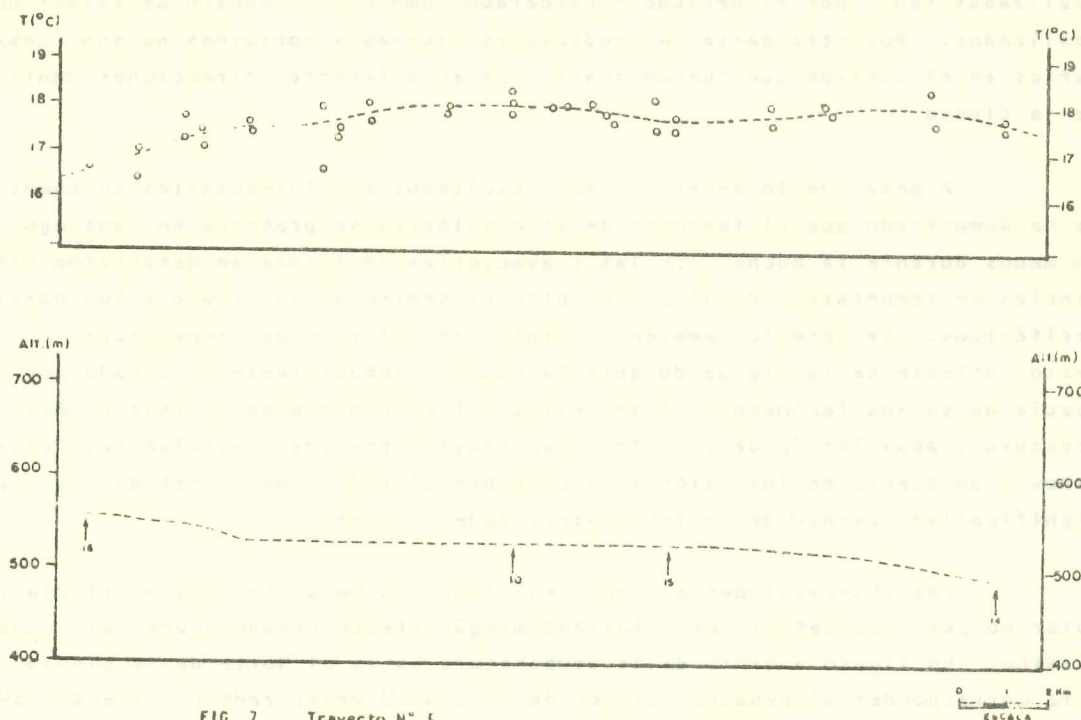


FIG. 7 Trayecto N° 5

Fecha: 9 de Septiembre de 1976.

Temperatura ajustada a las 16:00 hrs.

Los números señalan la posición en el trayecto según

Fig. 1.

4. CONCLUSIONES.-

Es conocido el hecho que el fenómeno urbano de isla calórica se presenta en forma más notoria durante la noche (Oke et. al 1975). La generación de un núcleo cálido en este período es explicado por una liberación de calor a la atmósfera tanto por factores antropogénicos como por efecto de la acumulación diurna de energía solar en edificios, pavimento, etc. Es necesario considerar también el efecto "invernadero" que provoca la atmósfera contaminada sobre la ciudad, limitando las pérdidas de radiación infrarroja. Estos efectos continúan siendo válidos durante el día. Sin embargo, como la irradiación solar en la ciudad es menor que en las zonas rurales vecinas, por efecto dispersivo de los contaminantes atmosféricos, existe así un factor que tiende a disminuir el efecto de isla calórica.

No es posible sacar conclusiones muy amplias de las observaciones realizadas tanto por el período considerado como por el número de recorridos realizados. Por otra parte las mediciones diurnas y nocturnas no son consistentes en el sentido que fueron realizadas en diferentes direcciones dentro de la ciudad.

A pesar de lo anterior, los resultados son interesantes en cuanto se ha demostrado que el fenómeno de isla calórica se presenta en Santiago, por lo menos durante la noche. En las trayectorias nocturnas se detectaron diferencias de temperatura de 3° a 4°C entre el centro de la ciudad y los barrios periféricos. Se detectó también un mínimo de relativo de temperatura en el sector oriente de la ciudad durante la noche, probablemente originado por una mezcla de varios fenómenos. Entre ellos, el efecto urbano de isla calórica, descenso y acumulación de aire frío que fluye desde los contrafuertes cordilleranos y un efecto de inversión térmica sobre el valle que se refleja en un significativo aumento de la temperatura ladera arriba.

Las observaciones diurnas realizadas en horas de máxima irradiación solar no permiten definir con claridad ningún efecto urbano sobre el campo térmico. Un ligero aumento de la temperatura hacia el Norte de la ciudad podría corresponder al penacho térmico de la ciudad arrastrado por viento SW que normalmente sopla durante el día.

Los resultados presentados concuerdan con los que generalmente se encuentran en la literatura sobre este tema. Sin embargo, este hecho no debe considerarse como definitivo constituyendo este estudio una fase preliminar.

El conocimiento detallado del campo térmico sobre Santiago se logrará luego de una investigación mucho más detallada que abarque varias épocas del año y amplios recorridos diurnos y nocturnos por la ciudad que permitan una buena resolución espacial y temporal.

5. AGRADECIMIENTOS.-

Los autores agradecen la participación en las mediciones de José Aceituno, Lorenzo Doerr, Carlos Pinilla y Hugo Salinas. Parte de las experiencias fueron financiadas por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.-

- BORNSTEIN, R.D.; 1968: "Observation of the Urban Heat Island Effect in New York City". *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 7, pp. 575-582.
- CHANDLER, T.J., 1962: "Temperature and humidity traverses across London". *Weather*, Londres. Vol. 17, pp. 235.
- HAGE, K.D., 1972: "Nocturnal Temperatures in Edmonton, Alberta". *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 11, pp. 123-129.
- KOPEC, R.J., 1970: "Further observations of the Urban Heat Island in a small city". *Bulletin American Meteorology Society*. Vol. 51, pp. 602-606.
- OKE, T.R., 1971: "The Urban Boundary Layer in Montreal". *Boundary Layer Meteorology*, Vol. 1, pp. 411-437.
- OKE, T.R., 1972: "City Size and the Urban Heat Island". *Conference on Urban Environment and Second Conference on Biometeorology*. Ed. por American Meteorological Society, pp. 144-146.
- OKE, T.R. y MAXWELL, G.B., 1975: "Urban Heat Island Dynamics in Montreal and Vancouver". *Atmospheric Environment*, Vol. 9, pp. 191-200.

ANEXO 1

RECORRIDOS REALIZADOS EN CADA EXPERIENCIA

- N° 1 Se inicia en Estación Central - Avda. Bdo. O'Higgins, Vicuña Mackenna, Irarrázabal, Larraín hasta Canal Las Perdices. Retorno hasta Estación Central. Avda. Bdo. O'Higgins, Carretera a Valparaíso (2 Km después de la desviación a Camino Pajaritos). Retorno a Estación Central.
- N° 2 Se inicia en Avda. Bdo. O'Higgins con Avda. Gral Velázquez. Carretera a Valparaíso hasta desviación a Aeropuerto. Retorno hasta Estación Central. Blanco Encalada, Avda. Matta, Avda. Grecia, Macul, Walker Martínez, Avda. Lo Cañas hasta el final.
- N° 3 Se inicia al final de Avda. Lo Cañas. Avda. Lo Cañas, Walker Martínez, Macul, Circunvalación Américo Vespucio, Plaza Egaña, Larraín, Final Avda. Larraín. Retorno a Plaza Egaña. Irarrázabal, Pedro de Valdivia, José Domingo Cañas, Avda. Matta, Blanco Encalada, Estación Central, Avda. Bdo. O'Higgins, Carretera a Valparaíso hasta desviación al Aeropuerto. Retorno hasta Larraín con Aeropuerto Tobalaba por el mismo recorrido. Plaza Egaña, Circunvalación Américo Vespucio retornando por el mismo trayecto inicial hasta Lo Cañas.
- N° 4 Se inicia en Avda. Matta con Arturo Prat. Arturo Prat, Ahumada, Independencia, Carretera Gral. San Martín hasta Puente Verde. Retorno por Independencia, Bandera, San Diego, Gran Avenida, Camino Los Morros hasta Avda. Lo Blanco, Los Morros, El Observatorio, Gran Avenida. Bfo-Bfo, Avda. Viel, Blanco Encalada hasta Almirante Latorre.
- N° 5 Se inicia en Blanco Encalada con Club Hípico. Club Hípico, Departamental, Avda. La Feria, Fernández Albano, Ochagavía hasta Avda. Lo Espejo. Retorno al punto de partida por idéntico recorrido. República, Bulnes, Gamero, Vivaceta, Independencia, Carretera Gral. San Martín hasta Puente Verde. Retorno al punto original por Avda. Brasil en lugar de Bulnes y Carrera en lugar de República.

ANEXO 2

PROTECCION TERMICA CON VENTILACION FORZADA PARA MEDICIONES DE TEMPERATURA

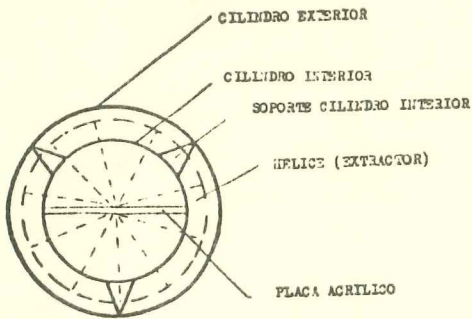
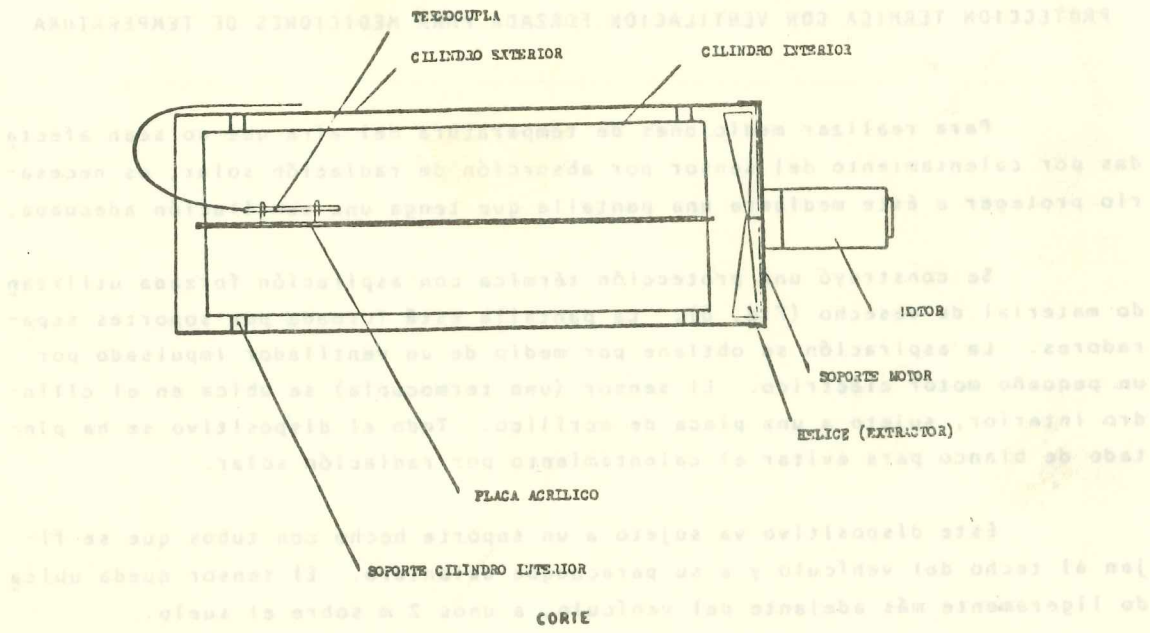
Para realizar mediciones de temperatura del aire que no sean afectadas por calentamiento del sensor por absorción de radiación solar, es necesario proteger a éste mediante una pantalla que tenga una ventilación adecuada.

Se construyó una protección térmica con aspiración forzada utilizando material de desecho (Fig. 8). La pantalla está formada por soportes separadores. La aspiración se obtiene por medio de un ventilador impulsado por un pequeño motor eléctrico. El sensor (una termocupla) se ubica en el cilindro interior, sujeto a una placa de acrílico. Todo el dispositivo se ha pintado de blanco para evitar el calentamiento por radiación solar.

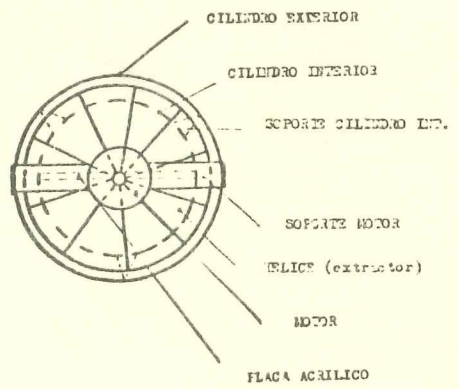
Este dispositivo va sujeto a un soporte hecho con tubos que se fijan al techo del vehículo y a su parachoque delantero. El sensor queda ubicado ligeramente más adelante del vehículo, a unos 2 m sobre el suelo.

En la Fig. 8 se muestra esquemáticamente el equipo usado en las mediciones.





VISTA FRENTE



VISTA POSTERIOR

FIG. 8 Equipo usado en las experiencias N° 4 y N° 5.