



Doc.: 40
Original: Castellano
País: Argentina

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS EN ZONAS FRIAS

Ing. Civ. JOSE M. ADJIMAN
Universidad Nacional de Rosario

Ing. Civ. GERARDO O. VENIER
Dirección Nacional de Vialidad

1. — Si bien es cierto que el efecto de las heladas en los pavimentos ha sido observado y se han establecido criterios de diseño desde hace años, es al Corps of Engineers U. S. Army, a quien le caben los mayores logros, por la amplia base experimental con que avalan sus conclusiones. Es a estos trabajos a los que haremos referencia con mayor asiduidad.

Existe también una profusa bibliografía a través del Highway Research Board. Cabe destacar que el tema ha sido considerado por diversos investigadores existiendo trabajos de S. Taber, Gunnar Beskow y Arthúr Casagrande desde 1930.

Al congelarse el agua, el volumen aumenta en un 9 %, por lo tanto para una penetración de helada de un metro y para una humedad de la subrasante del 20 %, se produciría un levantamiento del pavimento de casi 2 centímetros. El efecto perjudicial de este levantamiento es mayor cuanto menos uniforme sea. El aumento de volumen debido a la formación de lenticulas de hielo, en general, no es homogéneo y es precisamente este hinchamiento diferencial el que provoca la destrucción del pavimento.

2. — FORMACION DE LAS LENTICULAS DE HIELO

Al llegar las temperaturas de congelación a una subrasante constituida por suelo fino, el agua contenida en los poros se solidifica con el consiguiente aumento de volumen. Al producirse el deshielo el agua abandona este poro dilatado, dejando una cavidad mayor que la original.

La reiteración de este ciclo de congelación y deshielo en uno o más años reúne la suficiente cantidad de poros como para constituir una lenticula de tamaño tal que pueda producir la destrucción del pavimento.

Los cristales de hielo formados en los vacíos ejercen atracción sobre el agua retenida en las adyacencias, la cual migra hacia ellos y se solidifica con su contacto. Este mecanismo del movimiento del agua en la subrasante es probable que se deba a algunas de las siguientes razones:

- a) Circulación del agua al estado de vapor.
- b) Circulación del agua debido al gradiente de temperatura con dirección hacia los puntos más fríos.
- c) Inmediatamente debajo de la lenticula de hielo se acelera el desplazamiento del agua debido a la variación del potencial de capilaridad.

Durante el período de deshielo la capacidad soporte del pavimento se encuentra fuertemente disminuida a causa de la gran humedad que el suelo posee en ese momento. Como consecuencia de esto se producirán rugosidades en la superficie de carácter inadmisibles, agrietamiento de las losas de hormigón, posible pérdida de compactación, restricción del drenaje a causa de los estratos congelados, etc., todo lo cual conduce a la fisuración y deterioro del pavimento.

Las condiciones necesarias para que se produzca la formación de hielo son las siguientes:

- (2)
- 1) El suelo debe ser susceptible a la helada.
 - 2) Las temperaturas de congelamiento deben penetrar el suelo.
 - 3) Debe haber disponible una fuente de agua, tal como napa freática, infiltración acuífera o agua retenida dentro de los vacíos de los suelos de graduación fina.

Este fenómeno ^{continúa} prosigue así hasta que no haya más fuentes de agua o que la temperatura esté por encima de los 0°C.

Debe considerarse que un limo es peor suelo que una arcilla con respecto a su comportamiento frente a las heladas, debido a su mayor permeabilidad y a su mayor tamaño de poros, lo cual posibilita la formación de lenticulas mayores por un número menor de ciclos de congelamiento y deshielo.

3.—EFECTOS PERJUDICIALES DE LAS HELADAS EN LOS PAVIMENTOS

El hinchamiento del suelo provoca el levantamiento del pavimento, el cual puede ser uniforme o no, lo que depende de la variación en el tipo de suelo y de las condiciones de humedad existentes en las distintas zonas. El levantamiento uniforme permite que se mantengan las mismas condiciones de lisura de la superficie del pavimento que las que existían inicialmente; solamente se puede dar tal hinchamiento uniforme si el terraplén es de un espesor perfectamente uniforme, si la profundidad de la napa de agua se mantiene a igual distancia y si el suelo mantiene características uniformes horizontalmente.

En el levantamiento no uniforme, se notan diferencias apreciables en el hinchamiento de zonas adyacentes, dando un desnivel objetable. (*inacceptable*)

Los drenes, las alcantarillas, los tubos y en general todo material drenante, colocados debajo de un pavimento que descansa sobre una subrasante susceptible al congelamiento, frecuentemente tendrán un levantamiento diferencial pronunciado, a causa de las diferencias que tales elementos introducen en las condiciones de la subrasante; siempre que sea posible, debe evitarse la colocación de esos elementos debajo del pavimento; en caso que no se pudiera evitar, se deberá construir tal como se observa en la figura 1. Todos los drenes o artefactos

similares deben colocarse primero y luego construirse la base anticongelante, con el propósito de obtener la máxima uniformidad posible; si se procediera a la inversa (construir la base anticongelante y luego hacer zanjas para colocar los caños de drenaje) la uniformidad se perderá y no se obtendrá el mismo grado de compactación; además la cantidad de fino del material removido y vuelto a colocar se puede incrementar a causa de la incorporación de suelo de la subrasante durante la operación de zanjeo, o por la formación de finos por el manipuleo adicional.

Cuando no pueden evitarse las interrupciones en la uniformidad, la mejor solución para el diseño es la de usar un espesor suficiente de base no susceptible al congelamiento, a fin de que el levantamiento esté completamente prevenido.

La capacidad soporte puede reducirse aún, sin que se produzcan levantamientos de importancia; tal puede ser el caso de subrasantes arcillosas donde el aumento de espesor producido por la formación de las lenticulas de hielo, se encuentra balanceado por la contracción que sufre el suelo a mayor profundidad, como consecuencia de la disminución de la cantidad de agua, la que fue atraída por las lenticulas de hielo formadas.

La magnitud de pérdida de resistencia durante el período de deshielo y el lapso que dura esta resistencia reducida, depende del tipo de suelo, de las condiciones de temperatura durante los períodos de congelamiento y deshielo, de la cantidad y tipo de tránsito durante el deshielo, del suministro de humedad durante el otoño, invierno y primavera y de las condiciones de drenaje.

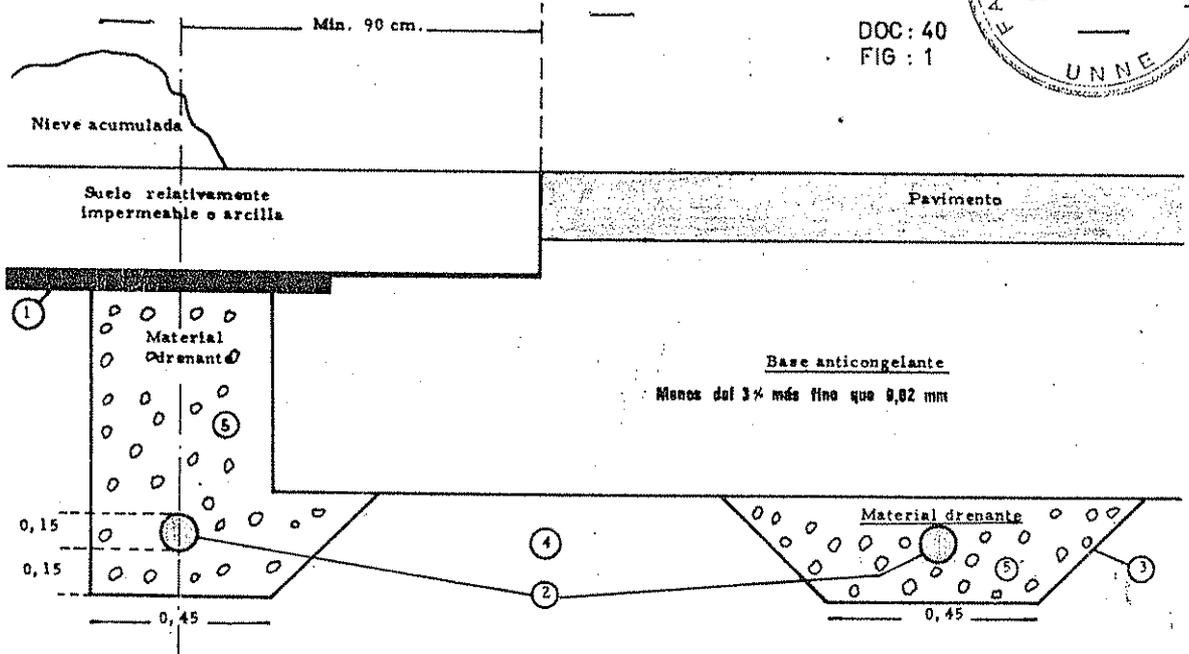
A causa de los levantamientos diferenciales, se forman fisuras y rugosidades en la superficie del pavimento. Según estudios realizados en pavimentos rígidos, se comprobó que las fisuras se desarrojan más rápidamente, durante e inmediatamente después del período de fusión —como consecuencia de un deshielo diferencial— que durante el período de activo levantamiento.

En los pavimentos flexibles se puede producir fisuración a causa de la contracción del pavimento y de la base debido a las temperaturas extremadamente bajas. Desafortunadamente, en el momento que se producen las mayores tensiones, el pavimento flexible es menos dúctil y más frágil. La

manera de contrarrestar este efecto es la de sellar las fisuras periódicamente cuando se considere que la entrada de humedad a tra-

vés de ellas pueda ser perjudicial o cuando se puedan producir astillas que afecten al material rodante.

DETALLE DE DRENES PARA REGIONES FRIAS



DOC: 40
FIG: 1



- (1) Riego asfáltico para evitar la obturación del filtro una vez construido.
- (2) Caño Ø 15 cm. de drenaje.
- (3) Pendiente no mayor 1:10.
- (4) Subrasante susceptible al congelamiento.
- (5) Características del material drenante o filtro (Ver párrafo 4).

Nótese que el material drenante no debe estar en contacto con el pavimento. El agua de deshielo no llega a la base.

4. — CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DRENANTE

Para impedir que el caño de drenaje se colmate con material drenante, penetrando a través de las perforaciones, deberán ser satisfechas las siguientes condiciones:

Para perforaciones circulares

$$\frac{D85 \text{ del material drenante}}{\text{diámetro de la perforación}} > 1,0 \quad (*)$$

(*) D85 es el diámetro del tamiz ideal por el que pasa el 85% del material.

Además el material drenante debe ser no susceptible a la helada o sea, que debe tener, en peso, menos del 3% de más fino que 0,02 mm.

Para impedir que las partículas de suelo fino de la subrasante susceptible penetren dentro del material drenante, se deberán satisfacer las siguientes condiciones:

$$\frac{D15 \text{ del material drenante}}{D85 \text{ del suelo de la subrasante}} \leq 5$$

$$\frac{D50 \text{ del material drenante}}{D50 \text{ del suelo de la subrasante}} \leq 25$$

Estos criterios sirven para proteger todos los suelos excepto arcillas medianas o altamente plásticas, sin arena ni partículas de limo, las cuales podrían exigir filtros de capas múltiples, ateniéndonos a los criterios mencionados. En estos suelos arcillosos, el tamaño de D15 del material drenante puede ser grande como 0,4 mm; el criterio de D50 no se aplica; el coeficiente de uniformidad no será superior de 20 para asegurar la no segregación del material drenante y su correcta graduación. Además, el material drenante debe ser no susceptible a la helada, o sea que debe tener, en peso, menos del 3 % de pasa tamiz ideal de 0,02 mm (Ver el subpárrafo b del párrafo 8).

En lo que respecta a caños de hormigón poroso no hay criterios satisfactorios; en ausencia de éstos se sugiere utilizar los siguientes criterios conservativos:

$$\frac{D15 \text{ del agregado en el caño poroso}}{D85 \text{ del material drenante adyacente al caño poroso}} \leq 5$$

La condición necesaria para que el agua libre llegue al caño es:

$$\frac{D15 \text{ del material drenante}}{D15 \text{ del suelo de la subrasante}} \geq 5 \text{ (Condición de dren)}$$

La construcción del filtro tiene la dificultad de la compactación en un espacio reducido y la tendencia a la segregación de las partículas; un material drenante con un coeficiente de uniformidad alto:

$$C_u = \frac{D60}{D10}$$

evitará la segregación durante la colocación, pero no es deseable un coeficiente de uniformidad mayor de 20. Un tenor de humedad óptimo durante la colocación ayudará a prevenir la segregación.

5. — CLASIFICACION DE SUELOS DETERMINADA POR SU SUSCEPTIBILIDAD A LAS HELADAS

La formación de las lenticulas de hielo en un suelo, depende en gran parte del tamaño de sus vacíos, los que, por supuesto, están relacionados con el tamaño de las partículas que lo componen. La mayoría de

los suelos inorgánicos que contienen 3 % o más de granos más finos que 0,02 mm, son susceptibles al congelamiento. Las gravas, las arenas bien graduadas y las arenas limosas que contienen el 1,5 al 3 % más fino en peso que 0,02 mm, se deben considerar como posibles suelos susceptibles y para evaluar su comportamiento real durante el congelamiento, deben someterse a un ensayo de laboratorio de susceptibilidad a la helada.

Los suelos arenosos uniformes pueden tener hasta el 10 % de finos que pasen los 0,02 mm en peso, sin que sean susceptibles al congelamiento; sin embargo su tendencia a mezclarse con otros suelos hace impracticable considerarlos a ellos por separado.

* Para el diseño del pavimento considerando los efectos de la helada, se dividen los suelos susceptibles al congelamiento en cuatro grupos, como se observa en la Tabla I.

La división entre los grupos F1 y F2 es debido a que los materiales que pertenecen al primer grupo pueden presentar mayor capacidad soporte que los del grupo F2 durante el deshielo, aunque ambos hayan experimentado igual formación de hielo.

(*) Las arcillas con índice de plasticidad mayor de 12- son menos susceptibles a las heladas debido a la menor permeabilidad que tienen respecto de las arcillas menos plásticas $IP < 12$. En estas últimas el agua migra hacia las zonas de congelamiento con mayor facilidad, aumentando la formación de las lenticulas de hielo.

Entre las arcillas de baja plasticidad y los limos, son estos últimos los que presentan mayor susceptibilidad al frío y una disminución, también mayor, de la resistencia de su valor soporte, lo cual puede determinar la necesidad de imponer restricciones de carga durante la temporada crítica del deshielo, o bien exponerse a la falla del pavimento a los pocos años de construido. Las arcillas, en cambio, durante el periodo posterior al deshielo, recuperarán más lentamente su capacidad soporte, debido a que el agua del descongelamiento dreña más lentamente.

Las vetas de arcilla consisten en capas alternadas de limo y arcilla, con lo cual se encuentran combinadas las propiedades indeseables de ambos suelos.

TABLA I

Indice suscepti- bilidad	Clase de Suelo	Porcentaje de más finos que 0.02 mm en peso	Tipos de suelos típicos según clasif. del H.R.B.
F 1	Suelos gravosos	3 a 10	A-1-a A-1-b
F 2	a) Suelos gravosos	10 a 20	A-1-a A-1-b
	b) Arenas	3 a 15	A-2-4 A-2-5 A-2-6 A-2-7 A-3
F 3	a) Suelos gravosos	Más de 20	A-1-b
	b) Arenas, excepto arenas limosas muy finas	Más de 15	A-2-6 A-2-7
	c) Arcillas, I.P. > 12 %	—	A-6 A-7-6
F 4	a) Todos los limos	—	A-4 A-5
	b) Arenas limosas muy finas	Más de 15	A-2-4 A-2-5
	c) Arcillas I.P. < 12 %	—	A-7-5
	d) Vetas de arcilla y otros sedimentos en bandas de graduación fina	—	A-2-4, A-2-5 A-4 A-5 A-7-5, A-7-6

La clasificación que aparece en la tabla no es rígida, sino que un tipo de suelo se puede hacer coincidir con otro grupo de helada que no sea el que aparece en la tabla (siempre que no difiera en más de un número en el grupo de helada); sin embargo, este cambio debe tener plena justificación, la que debe basarse en condiciones especiales de humedad de la subrasante o de uniformidad del suelo, pudiendo incluir datos de comportamiento de pavimentos locales.

El grado real de susceptibilidad al congelamiento debe medirse en los casos límites con un ensayo específico y no sólo por las características mecánicas de granulometría y plasticidad. La normalización de un Ensayo para esta determinación debe ser motivo de un estudio particular.

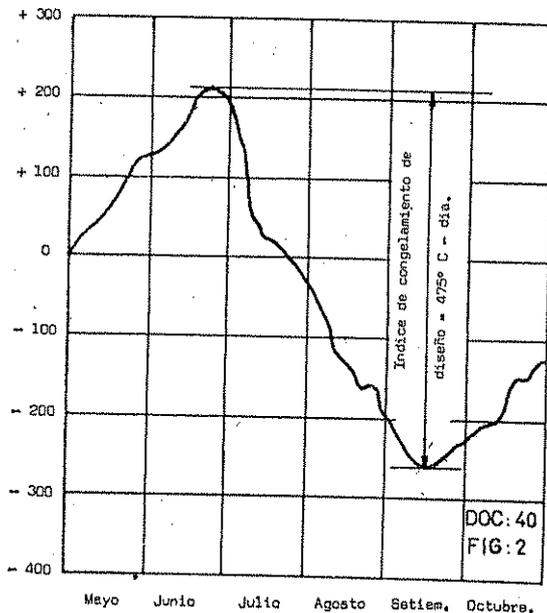
6. — INDICE DE CONGELAMIENTO

No es sólo el efecto de una baja temperatura lo que produce el congelamiento del

suelo, sino la acción continuada de bajas temperaturas. De allí la necesidad de desarrollar nuevos conceptos que integren la temperatura a través del tiempo.

Grados-día: Es la diferencia, para un día cualquiera, de la temperatura promedio diaria del aire de ese día y 0°C. Sumando algebraicamente los grados-día de días sucesivos, se obtiene una curva de grados-día acumulados, tal como se observa en la figura 2.

Curva de grados - días acumulados y determinación del índice de congelamiento de diseño.



Índice de congelamiento: Es el número de grados-día entre el punto más alto y el más bajo de la curva de grados-día, acumulados, siempre tomados en la rama descendente de la misma (ver figura 2). Es una medida de la magnitud y duración combinada de las temperaturas promedio diarias negativas. El índice determinado con las temperaturas del aire se designa "índice de congelamiento".

Índice de congelamiento de diseño: La curva de grados-día acumulados debe trazarse en base a un promedio de los tres inviernos más fríos de los últimos 30 años. Si no se dispone de información de 30 años se puede trazar con el invierno más frío de los últimos 10 años. Se trabaja con temperaturas del aire —tomadas a 1,35 m sobre

la superficie—. El índice de congelamiento de diseño es la diferencia de grados-día entre el punto más alto y el más bajo de la curva (Ver figura 2). Para evitar la necesidad de adoptar cada año un nuevo índice de diseño, el mismo se puede calcular cada 5 años, dado que la variación que puede existir será muy pequeña. Solamente se tornará necesario calcularlo cuando se note que se produjo un cambio significativo en la temperatura.

7. — PENETRACION DE LA HELADA

La determinación de la profundidad a que penetran las heladas fue determinada teóricamente por Stefan y Berggren y responde a la siguiente fórmula (Conception et construction de Chaussées - G. Jeuffroy):

En unidades centesimales

$$x = 415 \lambda \sqrt{\frac{KF}{L}}$$

x = [cm]

K = [cal/cm seg°C]

F = [°C-día]

L = [cal/cm³]

En unidades americanas

$$x = \lambda \sqrt{\frac{8KF}{L}}$$

x = [pie]

K = [BTU/hora pie °F]

F = [°F-día]

L = [BTU/pie³]

Considerando las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ cal}$$

$$1 \text{ BTU/libra} \cdot \text{°F} = 1 \text{ cal/gramo} \cdot \text{°C}$$

$$\text{°C} = (\text{°F} - 32) \cdot 5/9$$

$$1 \text{ BTU/pie}^3 \cdot \text{°F} = 160 \cdot 10^{-4} \text{ cal/cm}^3 \cdot \text{°C}$$

$$1 \text{ BTU/hora pie} \cdot \text{°F} = 41,34 \cdot 10^{-4} \text{ cal/seg cm} \cdot \text{°C}$$

siendo:

x = profundidad de la helada

λ = coeficiente de corrección

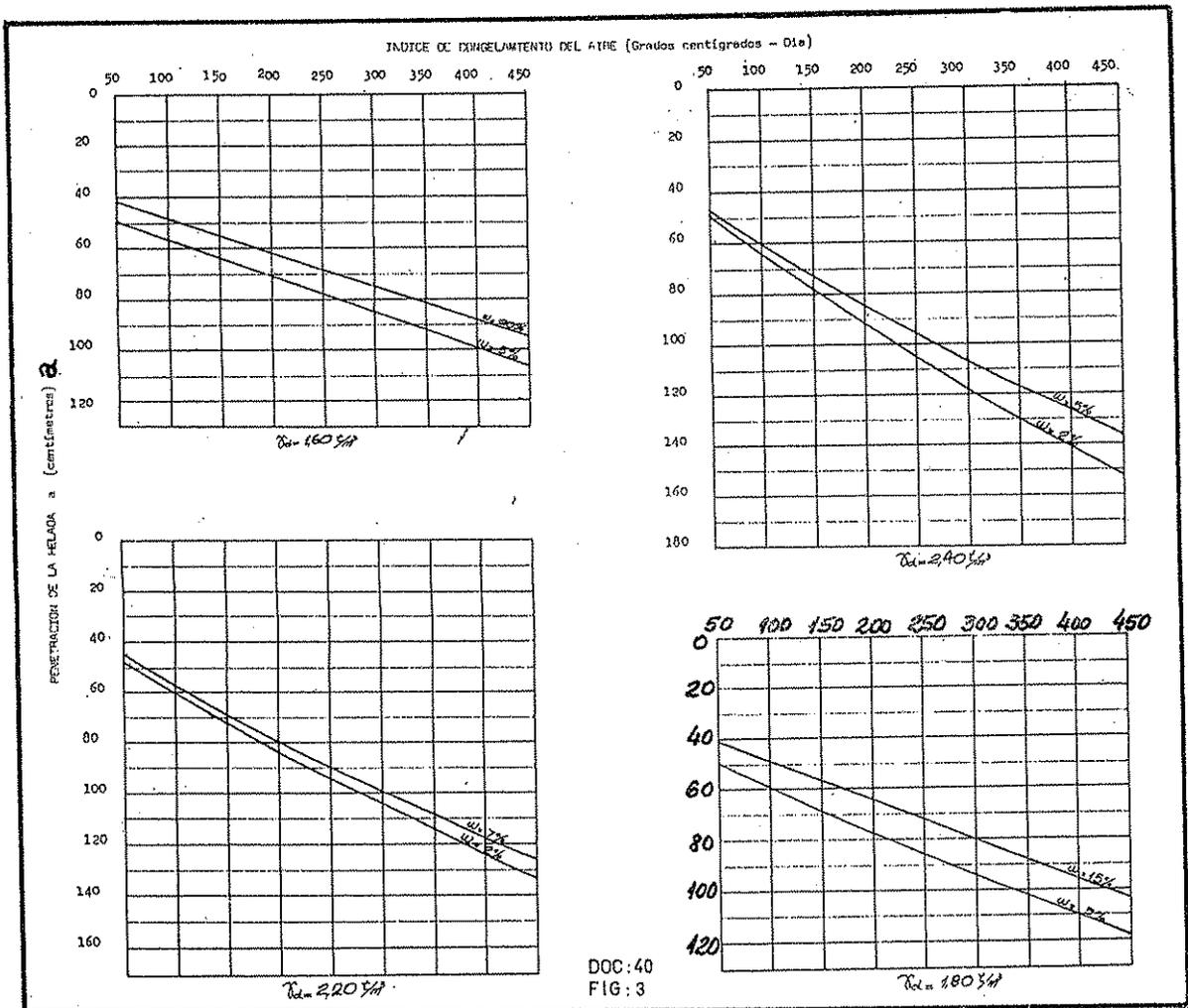
K = cantidad de calor que se transmite a través de la unidad de superficie, durante la unidad de tiempo, bajo el efecto de un gradiente térmico unitario

F = índice de congelamiento (ver párrafo 6)

L = calor latente volumétrico; es la cantidad de calor despedido por el hielo en la unidad de volumen del suelo.

Un detalle de calcular K y L y de determinar λ se puede encontrar en la obra citada de Jeuffroy y en "Frost Penetration below Highway and Airfield Pavement", publicación 135 del Highway Research Board - 1956, pero se logra tras un proceso iterativo. Cuando los índices de congelamiento son mayores de 50°C-día es más práctico recurrir a los gráficos de figuras 3 y 4 para determinar la penetración de las heladas.

RELACIONES ENTRE EL ÍNDICE DE CONGELAMIENTO DEL AIRE Y LA PENETRACION DE LA HELADA EN UN SUELO GRANULAR NO SUSCEPTIBLE A LA HELADA, DEBAJO DE PAVIMENTOS CONSERVADOS LIBRE DE HIELO Y NIEVE, PARA ÍNDICES DE CONGELAMIENTO INFERIORES A 450°C



NOTAS:

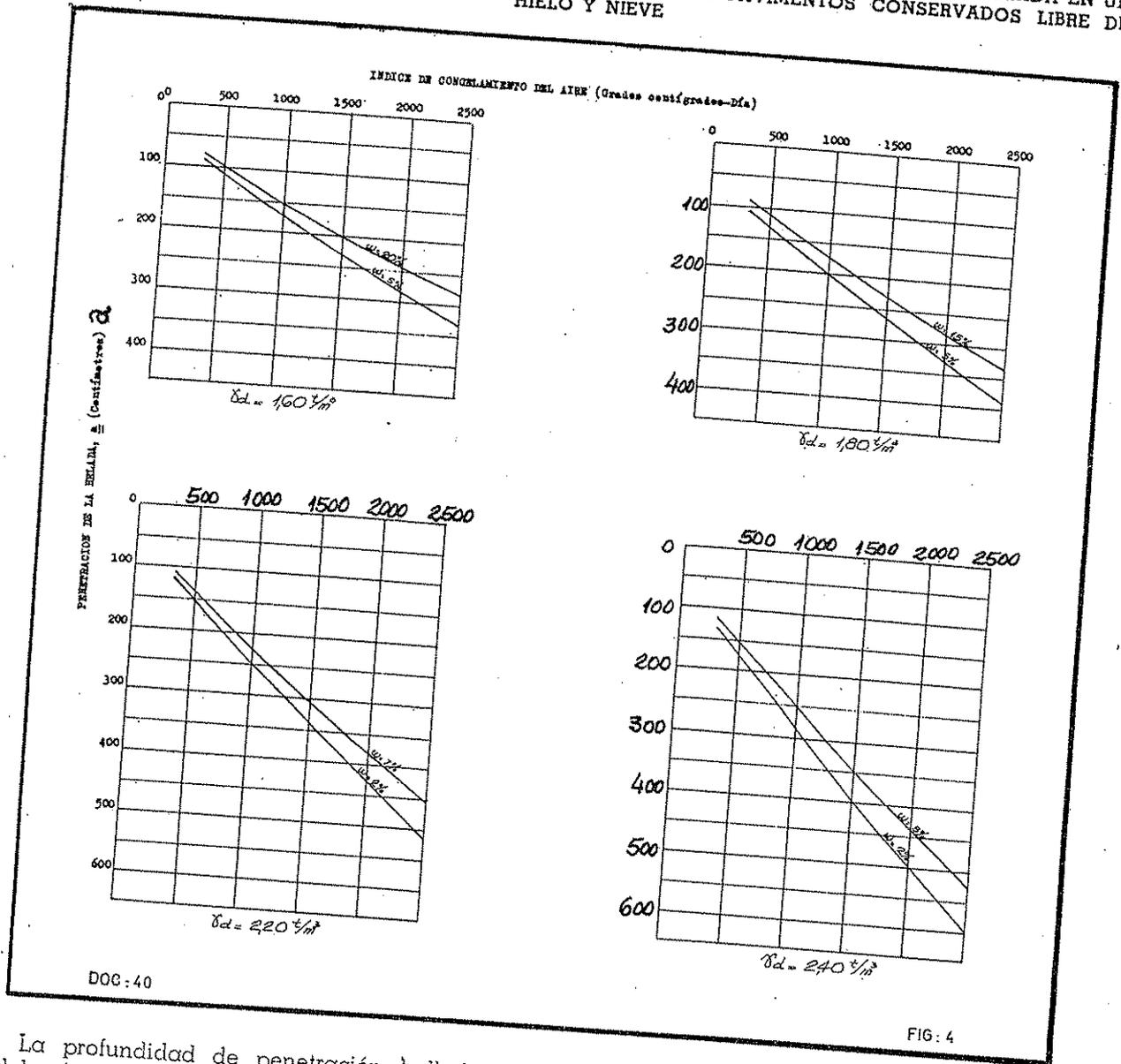
Las profundidades de penetración de la helada en basan en la fórmula de Berggren modificada. Las profundidades de penetración de la helada se miden desde la superficie del pavimento. Las profundidades que aparecen están calculadas para 30 cm. de espesor de pavimento rígido y, en buena aproximación, para pavimentos flexibles sobre 15 a 23 cm. de base de alta calidad.

γ_d — Peso específico seco del suelo.

w — Contenido de humedad, expresado en porciento del peso específico seco.

$$^{\circ}F = \frac{9}{5} ^{\circ}C + 32 ; \quad ^{\circ}C = \frac{5}{9} (^{\circ}F - 32) \quad (8)$$

RELACIONES ENTRE EL INDICE DE CONGELAMIENTO DEL AIRE Y LA PENETRACION DE LA HELADA EN UN SUELO GRANULAR, NO SUSCEPTIBLE A LA HELADA, DEBAJO DE PAVIMENTOS CONSERVADOS LIBRE DE HIELO Y NIEVE



DOC:40

FIG: 4

La profundidad de penetración hallada deberá considerarse como un valor posible, aunque de no gran exactitud. En general se debe recurrir también a la experiencia de campo, a los caminos existentes en la zona, sometidos a un régimen similar y finalmente al criterio profesional el cual será en definitiva el que dará el espesor de diseño.

8. — CARACTERISTICAS DE LA BASE ANTICONGELANTE

Cuando el nivel superior de la napa freática se encuentra durante todo el año dentro de los 1,50 m de la rasante propuesta,

las condiciones de humedad de ese terreno son adversas en lo referente a la formación del hielo que se pudiera producir. En cambio, si el nivel superior de la napa en todo el año se mantiene a una profundidad de 3 m por lo menos, puede esperarse un levantamiento reducido. Aunque el levantamiento reducido se tolera para pavimentos flexibles, puede ocurrir que no sea aceptable para pavimentos rígidos debido a la fisuración que se pueda presentar en el futuro, aun para pequeños levantamientos. Pero si la subrasante es de arcilla homogénea, el agua que pudiera contener puede ser suficiente para ocasionar el levantamiento.

to, por más que la napa esté a un nivel inferior a los 3 m; sin embargo, es poco probable que se produzca hinchamiento si esa humedad no supera el 70 % de la saturación, aunque no conviene tener en cuenta mucho esto, porque, ya sea por infiltración superficial o por otras fuentes, la saturación se puede alcanzar fácilmente.

La base anticongelante debe estar constituida por materiales no susceptibles al congelamiento. Las dimensiones y permeabilidad de la base deben satisfacer los criterios de drenaje, a la vez que el espesor necesario para prevenir las heladas. Este espesor debe incrementarse, si fuera necesario, para cumplir con el criterio de drenaje subsuperficial.

Si el espesor combinado de pavimento y base no susceptible al congelamiento, es menor que el que se obtiene de aplicar el Método de Penetración Limitada de la Helada en la Subrasante —ver más adelante— se debe hacer cumplir los siguientes requisitos:

a) **Sub-base drenante o filtro sobre la subrasante:** Tanto para pavimentos rígidos como para flexibles, los 10 cm inferiores de la base anticongelante deben consistir en arena no susceptible, arena con grava, desecho de criba o material similar; debe proyectarse como una sub-base drenante o sea como un filtro entre el suelo de subrasante y el material de la base anticongelante, con el propósito de prevenir la intrusión de la subrasante susceptible a la helada dentro de la base anticongelante, durante e inmediatamente después del período de deshielo. Este filtro no intenta servir como capa de drenaje.

El material de filtro, en ningún caso, debe contener más del 3 % en peso de partículas más finas que 0,02 mm. La experiencia muestra que si no se coloca este filtro, el efecto de amasado del tránsito produce el mezclado de suelo de subrasante y material de base anticongelante durante el período de deshielo. La experiencia y los ensayos indican que la arena no susceptible al congelamiento es especialmente adecuada como capa filtrante. El espesor mínimo de filtro de 10 cm, se debe a requisitos constructivos, pero se debe colocar mayor espesor cuando las condiciones de campo así lo requieran. Sobre subrasantes blandas pueden ser necesarios 15 cm o más, para soportar el equipo de construcción y para

proveer una plataforma de trabajo para colocar y compactar la base anticongelante.

b) **Filtro debajo de losas de pavimento:** Este filtro se coloca con el propósito de prevenir pérdida de soporte en los pavimentos rígidos, causada por el bombeo del suelo. Este material debe estar constituido por una granulometría en la cual el tamaño del tamiz que retiene el 85 % debe ser igual o mayor que el tamiz N° 10. Por razones constructivas la caja debe tener como mínimo un espesor de 10 cm.

9. — METODO DE DISEÑO

El diseño del pavimento en zonas de helada debe basarse en uno de los siguientes conceptos básicos:

- a) Control de la deformación de la superficie.
- b) Provisión de una adecuada capacidad soporte del pavimento durante el período más crítico.

De acuerdo con el primer concepto, se dimensiona el pavimento con vista a alguno de los dos siguientes objetivos:

- 1) Eliminar por completo los efectos que la helada pudiera producir sobre el pavimento.
- 2) Limitar tales efectos permitiendo levantamientos aceptables; los que se producen porque se permite que la helada penetre algo en la subrasante susceptible al congelamiento.

Por lo tanto, contamos con tres métodos:

- * Método de Protección Completa.
- ** Método de Penetración Limitada de la Helada en la Subrasante.
- *** Método de Resistencia Reducida de la Subrasante.

El primer paso es el de seleccionar el método más conveniente para el dimensionamiento, para lo cual se utiliza la tabla II.

El grado de variación horizontal del suelo de la subrasante y de las condiciones de humedad, se pueden clasificar en una de las cuatro categorías, a saber:

- Uniforme.
- Poco variable.
- Variable.
- Extremadamente variable.

Tabla II - Resumen de los métodos de diseño de pavimentos sometidos a la acción de las heladas.

Variación horizontal del suelo de la subrasante y de las condiciones de humedad.					
METODO DE DISEÑO	UNIFORME	POCO VARIABLE	VARIABLE	EXTREMADAMENTE VARIABLE	
	Las variaciones en el levantamiento no se pueden detectar. El hinchamiento diferencial no se tiene en cuenta y las consecuencias del deshielo se pueden prever utilizando el método de resistencia reducida de la subrasante. -	Los métodos ordinarios de investigación permiten visualizar las variaciones pequeñas en las condiciones de la subrasante. -	Las condiciones de la subrasante son moderadamente variables. Si se usa el método de diseño de resistencia reducida de la subrasante se producirá agrietamiento general en los pavimentos rígidos y una apreciable deformación superficial. -	(2)	(3)
PROTECCION COMPLETA	(2)	(3)	(4)	(5)	
PENETRACION LIMITADA DE LA HELADA EN LA SUBRASANTE I Y II	Exigencias para pavimentos flexibles y rígidos : (1) Sobre suelos de subrasante F4 (excepto el observado en la columna (4), abajo). - (2) Sobre otros suelos de subrasante susceptible a la helada cuando: a) Un menor espesor de diseño espera que producirá la rotura de los pavimentos rígidos o una inaceptable aspeza en el pavimento causada por un levantamiento no uniforme por helada. - b) El diseño por penetración limitada de la helada en la subrasante requiere menor espesor combinado o, de otro modo, es más económico que el diseño por el método de resistencia reducida de la subrasante. -				
RESISTENCIA REDUCIDA DE LA SUBRASANTE I Y II	Aplicable a pavimentos rígidos y flexibles sobre subrasante F1 a F3 cuando no se producirá levantamiento diferencial o agrietamiento objetable. -	Aplicable a pavimentos flexibles sobre subrasantes F1 a F3 cuando no se producirá levantamiento diferencial o agrietamiento objetable. -	Aplicable a pavimentos flexibles sobre subrasante F1 a F4 cuando los pavimentos son secundarios, se marcha a velocidad reducida y de carácter no crítica y el levantamiento se puede tolerar. Se exceptúa su uso sobre subrasantes F4 que tienen condiciones de humedad adversas.		

Handwritten notes:
 200.000 →
 100.000 →
 50.000 →

Aclaraciones correspondientes a tabla II

- I. Cuando el espesor combinado hallado excede los 1,80 m., se consideran las siguientes alternativas: (1) Limitar el espesor total a 1,80 m., y, en pavimentos rígidos, usar acero de refuerzo; (2) Reducir las dimensiones de la losa; (3) Hacer una base con poder de retención de humedad más altb. Para aplicar algunas de estas alternativas se deberá contar con la aprobación del ingeniero jefe.
- II. Se pueden adoptar valores de espesores intermedios entre los hallados por ambos métodos cuando se cuente con una justificación basada en experiencias de campo o con condiciones especiales de diseño.
- III. Para pavimentos rígidos sobre subrasante uniforme, en vez de base igual al espesor de la losa, se permite utilizar 10 cm. de base sobre subrasante F1, F2 y F3 cuando: (1) El índice de congelamiento de diseño es inferior a 556°C-día o (2) La subrasante es susceptible al bombeo y la napa freática está por debajo de los 3 m.

NOTA:

El diseño de pavimentos de carretera debe basarse, generalmente, en el método de resistencia reducida de la subrasante, al cual le podemos adicionar un espesor basándonos en datos del terreno y en experiencias anteriores. Si este espesor total excede al obtenido por el método de penetración limitada, se adoptará este último. Una reducción de hasta el 10% en el espesor de la base anticongelante se permite si ello está justificado por datos del terreno y experiencias anteriores.

La distinción de cada una se da en la misma tabla, siendo su diferenciación puramente cualitativa. Para su elección se debe usar el buen criterio, el que se debe basar en el comportamiento de pavimentos en la zona y en un cuidadoso estudio del perfil geotécnico. A veces, un pavimento se puede diseñar por tramos, según sea la zona que atraviesa.

Una vez elegida la categoría, el método de diseño se extrae de la tabla II.

Debe notarse que el espesor que se obtenga considerando el período normal, verano y otoño, como se hace en el diseño sin heladas, debe tener prioridad sobre el espesor que se obtenga por congelamiento cuando el primero es mayor que este último. En este caso el espesor dado por los métodos de diseños con heladas debe ser cubierto con materiales no susceptibles; el resto hasta completar las necesidades estructurales se complementará con materiales comunes. Si en una subrasante uniforme o ligeramente variable, tenemos pequeños bolsones aislados de suelos altamente susceptibles a la helada, puede ser preferible excavarlos y rellenarlos con suelo semejante al del resto de la subrasante, antes que variar el diseño; también mediante un buen drenaje pueden corregirse condiciones adversas de humedad en esas áreas pequeñas.

9.1. Método de Protección Completa

Este método de diseño permite la eliminación completa de la deformación de la superficie que pudiera ocasionar la helada,

dando un espesor tal a la capa de base que la helada no penetre en la subrasante susceptible al congelamiento. Se utiliza sólo bajo condiciones excepcionales: el suelo de la subrasante pertenece al grupo F3 o F4, las variaciones horizontales del suelo y de la humedad son extremas y el Método de Penetración Limitada no da un control adecuado del levantamiento y la fisuración.

Para obtener el espesor combinado —pavimento y base anticongelante— requerido por este método, se utilizan las figuras 3 y 4. El espesor combinado está dado por el valor α .

9.2. Método de Penetración Limitada de la Helada en la Subrasante

Este método intenta mantener la deformación superficial en valores pequeños, aceptables, en lugar de eliminarlos completamente. Se aplica principalmente a subrasantes poco variables y variables, en las que la aplicación del Método de Resistencia Reducida producirá una fisuración inaceptable en los pavimentos rígidos y una rugosidad inadmisibles en los pavimentos flexibles. En la tabla II se observan las circunstancias en las que siempre se puede aplicar este método. Las excepciones se producen cuando el suelo es tan extremadamente variable que debe utilizarse el Método de Protección Completa y en aquellos casos en que se piensa que el pavimento flexible puede sufrir levantamientos no uniformes y fisuración tales que no se consideren perjudiciales.

En algunos sitios puede ser posible corregir las causas de levantamiento no uniforme, removiendo todas las zonas donde aparezca el suelo más susceptible a la helada, o dando una transición gradual a los cambios bruscos del suelo de la subrasante.

El procedimiento para calcular el espesor de la base es el siguiente:

1) Estimar el contenido de humedad promedio en la base anticongelante y en la subrasante al comienzo del período de congelamiento y el peso específico seco de la base anticongelante.

2) De las figuras 3 ó 4 ó 6 de la fórmula de Berggren modificada, determinar el valor de α , que representa el espesor combinado de pavimento y base no susceptible a la helada necesario para que no se produzca congelamiento en la subrasante. Los gráficos están calculados para un pavimento rígido de 30 cm de espesor de losa, o para un pavimento flexible promedio mantenido libre de hielo y nieve. Los pavimentos de hormigón de más de 30 cm se calculan en igual forma, pero se debe entrar con el Índice de Congelamiento reducido en 6 grados-día por cada 2,5 cm de aumento de espesor por encima de los 30 cm; luego de hallado el espesor combinado α , se le debe sumar este espesor extra.

3) Calcular el espesor de la base anticongelante, c haciendo:

$$c = \alpha - p$$

donde p es el espesor del hormigón o del asfalto.

Este valor de c es el espesor de base no susceptible, necesario para que la helada no llegue a la subrasante y es el que se toma para el diseño en el Método de Protección Completa.

4) Calcular el cociente:

$$r = \frac{W_s}{W_b} = \frac{\text{humedad de la subrasante}}{\text{humedad de la base}}$$

5) Entrar en la figura 5, con c y con r y sacar, en la escala de la izquierda el espesor de la base b ; en la escala de la derecha se leerá el valor que penetrará la helada en la subrasante, s . Si el valor de r sobrepasa a 2,0 se debe usar igualmente la recta de $r = 2,0$. (La razón de limitar r a un valor máximo de 2,0 obedece a que no toda la humedad, en los suelos de granulome-

tría fina, se congela realmente a la temperatura de congelamiento, la cual será alcanzada en la porción superior de la subrasante.

Los 10 cm inferiores de la base diseñada de espesor b , deben ser construidos con material de filtro, a menos que el material seleccionado para base no susceptible cumpla de por sí con el criterio de filtro o sub-base drenante.

Cuando el espesor máximo combinado de pavimento y base requerido por este diseño excede los 1,80 m, debe hacerse un estudio de alternativas como las siguientes:

1) Limitar el espesor total combinado a 1,80 m y, en pavimentos rígidos, colocar acero de refuerzo para prevenir grandes fisuras.

2) Limitar las dimensiones máximas de la losa, en caso de no utilizar refuerzo. (Acero)

3) Reducir el espesor combinado requerido, utilizando una base no susceptible al congelamiento de arena fina uniforme, con alta retención de humedad en la condición drenada, en lugar de material de más libre drenaje.

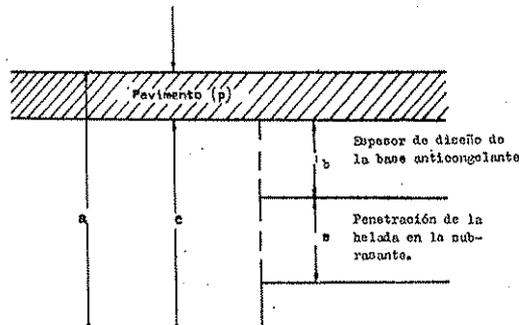
9.3. Método de Resistencia Reducida de la Subrasante

Este método se puede usar tanto para pavimentos rígidos como para flexibles y sobre subrasantes que estén dentro de alguno de los grupos F1 a F3 cuando la subrasante es horizontalmente uniforme (o también cuando es poco variable, en el caso de pavimentos flexibles) tal que no se presentarán levantamientos significativos u objetables que se traduzcan en la fisuración del pavimento. También puede utilizarse sobre subrasantes horizontalmente variables de cualquier grupo, si se trata de un pavimento flexible que es secundario y sobre el que no se desarrollarán velocidades altas, siempre y cuando se considere que el levantamiento y sus efectos se puedan tolerar. Cuando corresponde utilizar este método sobre subrasante F4, se debe diseñar con la curva F3.

En zonas muy frías, en general, en los proyectos de caminos se usa el método de resistencia reducida de la subrasante, no recomendándose para pavimentos rígidos sobre subrasantes F4 con condiciones de humedad adversas. En zonas donde la temperatura invernal no es extrema y por en-

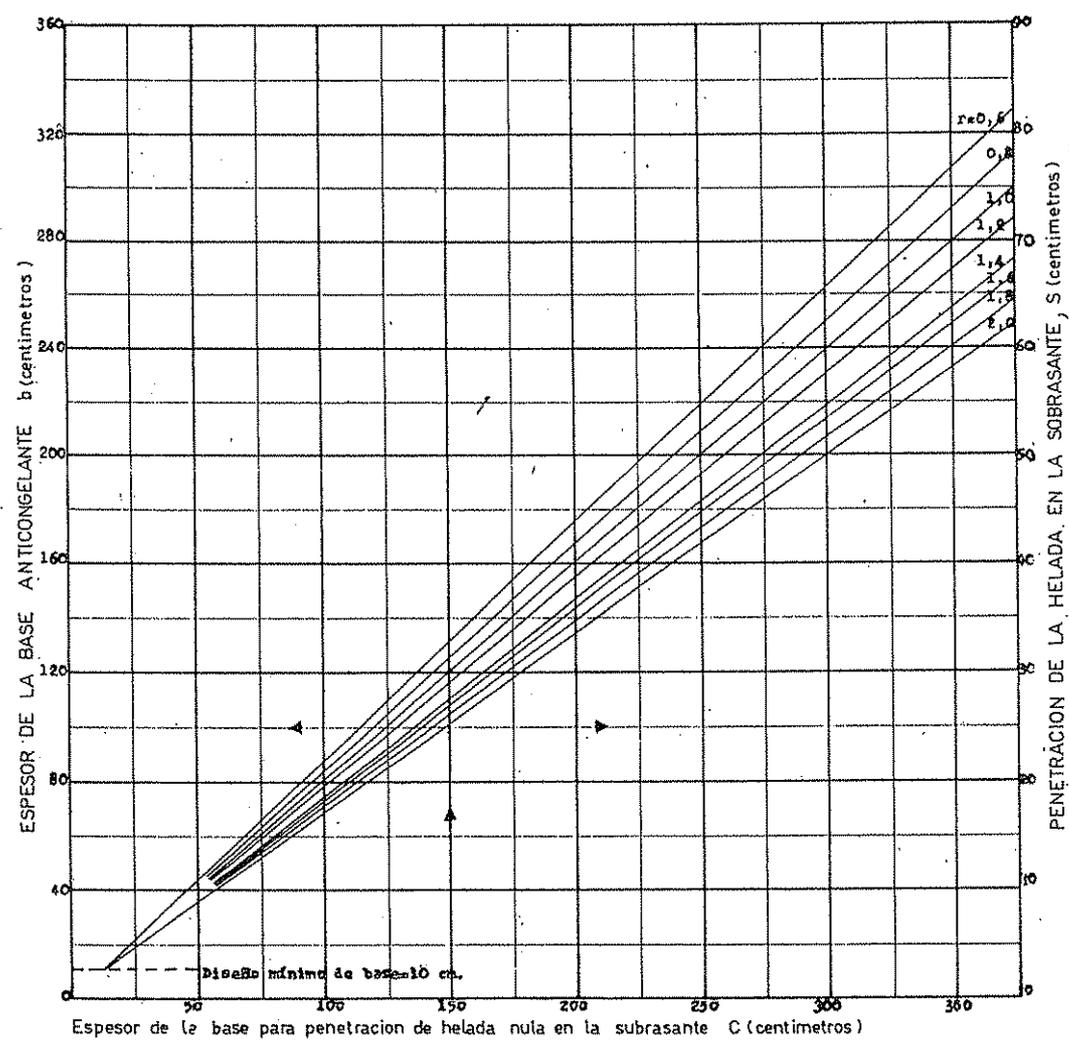
de tendremos índices de congelamiento bajos, corresponderá diseñar con el método de penetración limitada de la helada en la subrasante, pues este método exigirá un es-

pesor total inferior al del método de resistencia reducida de la subrasante; también se aplicará en zonas con condiciones de subrasante muy variada.



a: Espesor combinado de pavimento y base anticongelante no susceptible al congelamiento para penetración de helada nula en la subrasante
 FIGS : (3) y (4)
 c: a - p
 Wb Humedad de la base anticongelante
 Ws Humedad de la subrasante
 $r = Ws/Wb$ (si supera 2,0 se usará $r = 2,0$)

EJEMPLO: Si $c = 150$ cm y $r = 2,0$ entonces $b = 100$ y $s = 25$ cm



ESPESOR DE LA BASE PARA PENETRACION DE HELADA NULA EN LA SUBRASANTE C (centímetros)
 ESPESOR DE DISEÑO DE BASE NO SUCEPTIBLE AL CONGELAMIENTO PARA PENETRACION LIMITADA DE LA HELADA EN LA SUBRASANTE

FIG: 5

DOC: 40

Si la subrasante presenta una buena uniformidad, o pequeñas variaciones horizontales pero tiene bolsones aislados de suelo altamente susceptible, puede ser más conveniente excavarlos y reemplazarlos con suelos no susceptibles y/o de menor susceptibilidad al frío; hay casos en que un buen drenaje mejora suficientemente las condiciones adversas de la subrasante.

9.3.1. Índice de diseño

El índice de diseño se determina a partir de la composición del tráfico y del tipo de vehículos.

Grupo I: automóviles y pick-ups. ✓

Grupo II: camiones livianos (2 ejes).

Grupo III: camiones pesados (3-4-5) ejes).

Categoría I: 99 % del grupo I más 1 % del grupo II.

Categoría II: 90 % del grupo I más 10 % del grupo II.

Categoría III: 85 % del grupo I más 14 % del grupo II, más 1 % del grupo III.

Categoría IV: 75 % del grupo I más 15 % del grupo II, más 10 % del grupo III.

CURVA DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARRETERAS POR EL METODO DE RESISTENCIA REDUCIDA DE LA SUBRASANTE POR EFECTO DE LA HELADA

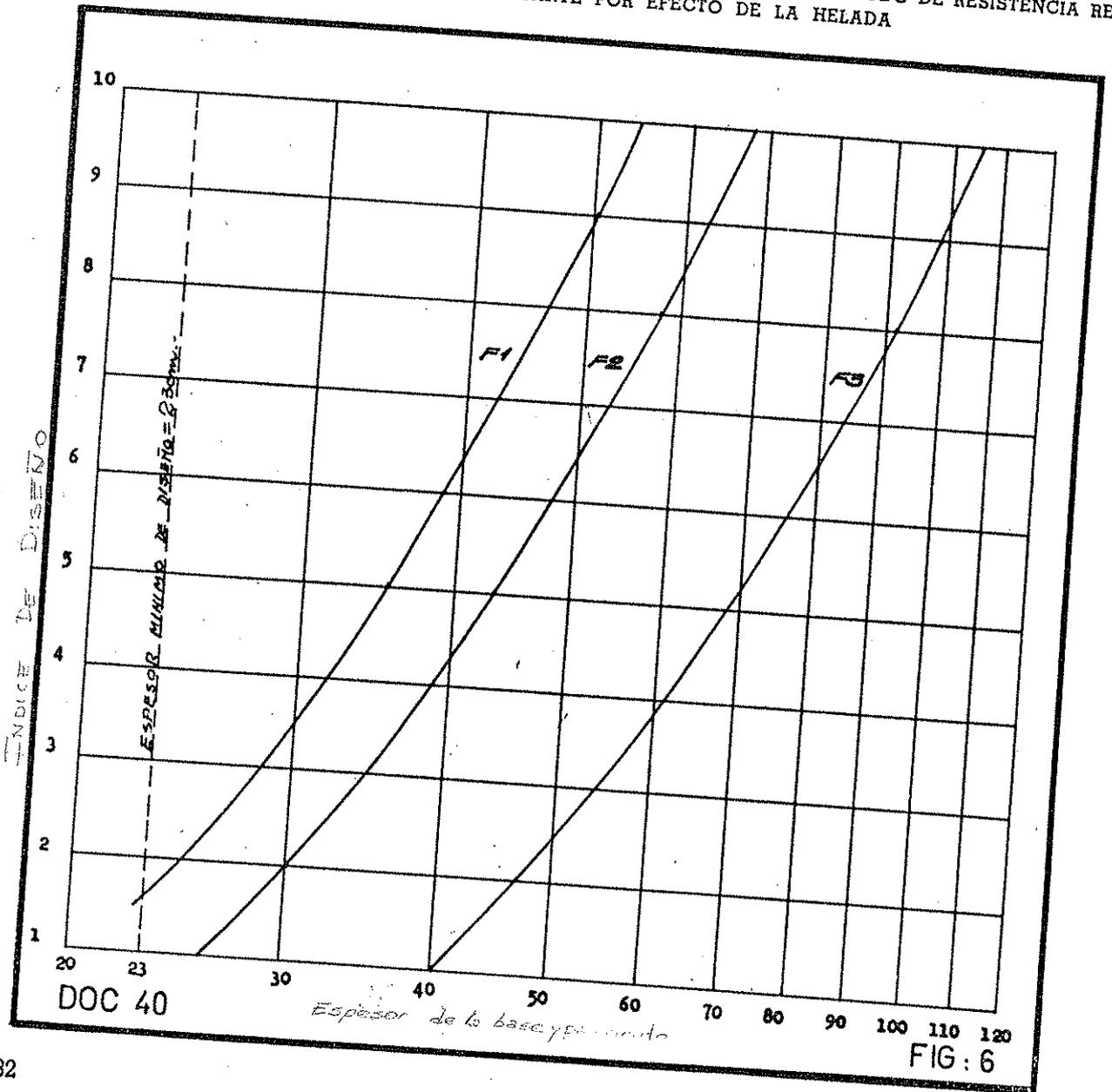


TABLA IV

	RUTA CLASE A + RUTA DE 4 TROCHAS	RUTA CLASE B ++ RUTA DE 2 TROCHAS	RUTA CLASE C ++ RUTA DE 2 TROCHAS	RUTA CLASE D ++ RUTA DE 2 TROCHAS	RUTA CLASE E ++ RUTA DE 2 TROCHAS	RUTA CLASE F ++ RUTA DE 1 TROCHA
Control de Esfuerzo y Eficiencia	Llano Ondulado Montañoso	Llano Ondulado Montañoso	Llano Ondulado Montañoso	Llano Ondulado Montañoso	Llano Ondulado Montañoso	Llano Ondulado Montañoso
COMPROBES DE DISEÑO:						
1. Composición del tráfico 1						
T = 0%	5700	4800-6000	4800-6000	4800-6000	4800-6000	4800-6000
Tráfico diario promedio	5700	4800-6000	4800-6000	4800-6000	4800-6000	4800-6000
Volumen horario de diseño	1000	720-900	720-900	720-900	720-900	720-900
T = 10%						
Tráfico diario promedio	6000	4400-5500	3700-4600	2800-3700	1800-2800	90-2700
Volumen horario de diseño	900	550-820	420-530	340-550	270-420	10-410
T = 20%						
Tráfico diario promedio	5600	4000-5000	3000-3700	2000-2500	1200-2000	80-2500
Volumen horario de diseño	840	500-750	450-560	300-380	180-300	10-380
T = 30%						
Tráfico diario promedio	5100	3700-4700	2500-3200	1500-2100	900-1600	570-1500
Volumen horario de diseño	770	550-700	380-480	230-310	145-230	15-340
2. Velocidad directriz, Km/h.	113	80	97	80	80	89
3. Velocidad promedio, Km/h.	79	64	72	64	64	69

NOTAS

- NOTA
- + El volumen horario de diseño (D.H.V.) mostrado para rutas de Clase A en los vehículos por hora y por trocha en la dirección del flujo del tránsito más pesado.
 - ++ El D.H.V. mostrado para rutas de clase B,C,D,E y F es el total de vehículos por hora para todas las trochas en ambas direcciones.
 - 1 El símbolo "p", con indicaciones de porcentaje, representa la proporción de tráfico total compuesto de camión, camionetas y vehículos pesados; el restante son camiones livianos y autos de pasajeros.
 - 2 El D.H.V. es igual al 1% aproximadamente del tráfico diario promedio (A.D.V.).
 - 3 Estos valores muestran el volumen de tráfico mixto el cual requiere la misma área de operaciones que la que es requerida por el tráfico compuesto de camiones livianos y autos de pasajeros.
- Estos volúmenes horarios de diseño están basados en el porcentaje indicado en el volumen diario y pueden ser correctivos en algunas circunstancias porque el porcentaje de camiones, de camionetas livianas, etc., durante las horas pico, son, en general, considerablemente inferiores al porcentaje promedio durante todas las horas.

En nuestro país por las características del tránsito, estaremos, en general, dentro de la categoría IV.

Con la clase de ruta, obtenida de tabla IV, y con la categoría, hallamos el índice de diseño de la tabla III.

TABLA III
(VALOR DEL INDICE DE DISEÑO)

Clase de ruta	Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV
A	3	4	5	6
B	3	4	5	6
C	3	4	4	6
D	2	3	4	5
E	1	2	3	4
F	1	1	2	3

Si el espesor determinado por este método excede el obtenido por el Método de Penetración Limitada, debe utilizarse el menor valor, siempre que éste sea igual o mayor que el que se obtiene por la condición sin congelamiento.

En situaciones donde se considera que la aplicación del Método de Resistencia Reducida puede dar una rugosidad inaceptable o fisuras objetables, pero que se piensa que el uso del Método de Penetración Limitada no es necesario, se pueden adoptar espesores intermedios.

Se pueden hacer las siguientes consideraciones, de acuerdo al tipo de pavimento:

1) Pavimento flexible.

La experiencia muestra que, en terraplenes relativamente angostos, se puede producir una menor pérdida de capacidad soporte que en los desmontes cercanos, a causa de la mayor facilidad de drenaje en el primer caso; si los datos que se pueden obtener en el terreno revelan que estamos en esta situación, entonces se permite una reducción del espesor combinado de hasta un 10%.

En ningún caso se permite que el espesor combinado de pavimento y base anti-congelante sea inferior a los 23 cm.

2) Pavimento rígido.

Si la subrasante es horizontalmente uniforme, debe usarse una base de espesor, por lo menos, igual al del pavimento de hormigón, excepto en los siguientes casos:

a) Cuando los suelos de subrasante de los grupos F1, F2 y F3 se presenten en condiciones de uniformidad horizontal y el índice de congelamiento de diseño es menor que 556°C-día, el espesor mínimo de la base no susceptible al congelamiento debe ser de 10 cm, diseñado teniendo en cuenta los requisitos de filtro sobre la subrasante o sub-base drenante que se enunciaron anteriormente.

b) Donde los suelos de los grupos F1, F2 y F3, se presentan uniformes horizontalmente y la profundidad de la napa está a más de 3 m, el espesor mínimo de la base anti-congelante debe ser de 10 cm, diseñada considerando que debe trabajar como filtro sobre subrasante o sub-base drenante.

El espesor de la losa de hormigón debe calcularse utilizando el módulo de reacción de la subrasante para el período de deshielo, que se extrae de la figura 7. Si el valor del módulo de la subrasante que se obtiene realizando el ensayo en el período normal es menor que el obtenido de esta figura 7, el valor del ensayo debe gobernar el diseño. No se debe intentar el ensayo del plato de carga en la época de deshielo, ya que él es muy difícil de evaluar.

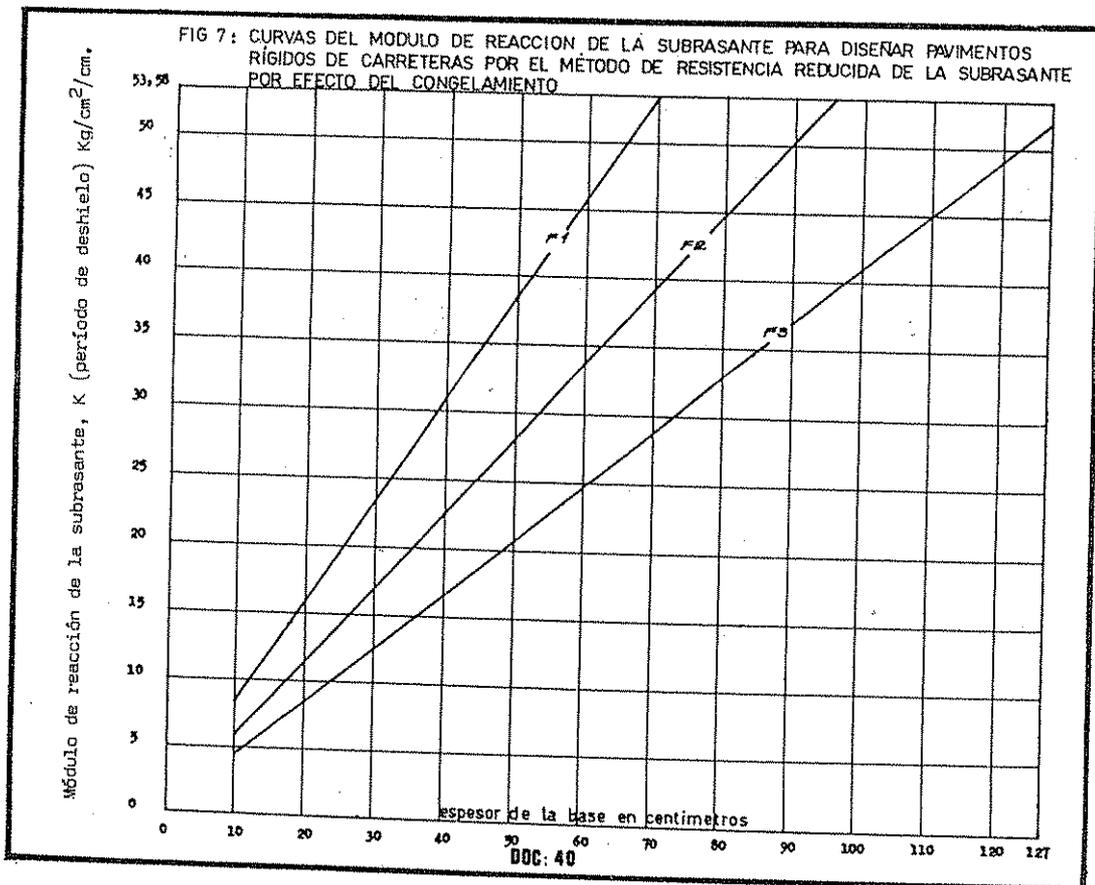
10. — TRANSPOSICION DEL INDICE DE CONGELAMIENTO

En el caso de tener que determinar el índice de congelamiento de diseño de un camino, cuya traza difiere mucho, altimétricamente, de las estaciones meteorológicas de las cuales se poseen datos de temperatura y que a su vez hay diferencias de altura entre ellas, pero sujetas a un mismo régimen, se determina la relación de índices de congelamiento a cota de terreno. Esta relación se denomina "velocidad de caída" (lapso rate) —es el incremento promedio del índice de congelamiento correspondiente a un incremento altimétrico unitario— y mediante ella se determina el índice de diseño con suficiente aproximación, por transposición de los índices aun en el caso de existir diferencias apreciables de temperatura.

Estudios realizados por U.S.A.C.R.R.E.L. (United State Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hannover, New Hampshire) en cuatro áreas montañosas demuestran que si se dispone de suficientes datos de temperatura se puede determinar la "velocidad de caída" —lapse rate— correspondiente a un área determinada, por ejemplo: 160 km de diámetro, pero debido a la diferencia existente entre las "velocidades de caída" correspondiente a distintas áreas, aun cuando éstas estén sometidas al mismo régimen climático, determinan que cada área tiene su propia velocidad de caída, no pudiéndose aplicar a otra área. La precisión promedio alcanzada al trasponer índices es del orden de los 140 grados-día. Esta exactitud podría ser mayor si a más de la altimetría se tienen en cuenta la expo-

sición a la intemperie, la ubicación y el efecto de las variaciones de temperatura. Para determinar la influencia de estos datos, se debe obtener la mayor cantidad posible de información, de las estaciones meteorológicas ubicadas en una montaña y preferentemente en un grupo de montañas, a distintas alturas intermedias entre la base y la cumbre y sobre distintos tipos de pendientes.

La transposición del índice de congelamiento de diseño, en zona con significativas diferencias altimétricas y cuando los registros de temperatura son insuficientes, se deben determinar con los registros completos de dos años consecutivos y preferentemente de tres años consecutivos de la localidad en estudio.



11. — RECOMENDACIONES GENERALES

Para finalizar este trabajo, caben las siguientes recomendaciones, a las que hay que ajustarse para lograr un eficiente control de las heladas:

1) **Adecuado proyecto de niveles:** Se debe tratar que el pelo de agua de la cuneta esté lo suficientemente alejado como para que el agua no pueda llegar fácilmente a la subrasante.

2) **Utilización de suelos seleccionados:** Hemos visto que es fundamental la utilización de una capa más o menos gruesa de material no susceptible a la helada, a fin de impedir que ésta haga sentir sus efectos sobre la subrasante susceptible al congelamiento.

3) **Control de la compactación:** Es conveniente compactar a los suelos con una humedad superior, levemente, a la óptima, con lo que se obtendrá una menor densidad y el agua podrá circular menos libremente porque la permeabilidad se redujo, con lo que el agua demora más en trasladarse hacia la zona helada, a la vez que se dificulta la saturación de la subrasante durante el período lluvioso. Estas apreciaciones se basan en experiencias realizadas sobre suelos finos.

4) **Control de laboratorio:** El material constitutivo de la base anticongelante debe tener menos del 3 % de más finos que 0,02 mm; la determinación se efectúa mediante un ensayo Bouyoucus; no obstante, para facilitar la tarea de campaña se podría considerar a los finos, en una rápida determinación, que un suelo no susceptible, es aquel que tiene menos del 6 % de pasa tamiz 200. El Estado de New Hampshire, por ejemplo, fijó este límite.

Para un control más exacto debe hacerse un ensayo de congelamiento.

5) **Selección de las temperaturas más representativas a usar:** El índice de congelamiento debe determinarse en base a datos de temperatura suministrados por estaciones meteorológicas muy próximas a la obra proyectada.

De no disponer de esta información, debe preferirse el uso de estaciones con similitud climática a las que tendremos en la obra, a la interpolación de datos provenientes de estaciones con climas diversos aun cuando están más cercanas a la obra.

12. — ESTUDIOS RECOMENDADOS PARA ADAPTAR EL METODO A LAS CONDICIONES LOCALES

1) Desarrollar un ensayo para determinar la susceptibilidad de un suelo al congelamiento adaptado a la existencia de elementos usuales en laboratorio según la técnica vial argentina.

2) Dado el escaso número de estaciones meteorológicas en zonas frías, proveer de registradores continuos de temperatura a los puestos camineros de conservación y control e instruirlos para que remitan informes periódicos a las oficinas centrales.

3) Realización de un mapa de la República Argentina con el trazado de las líneas de igual índice de congelamiento, básicamente similar al de Suecia, realizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Viales de Estocolmo, al de EE.UU. realizado por el Corps of Engineers U.S.A. Army, etc.

4) Realizar estudios que correlacionen la altura de la napa freática y las precipitaciones pluviales y su influencia en el comportamiento de los suelos con la helada y en general realizar los estudios conducentes a la mejor aplicación del Método en nuestro país.

BIBLIOGRAFIA

1. — TM 5-818-2, *Pavement design for frost conditions*, Corps of Engineers, U. S. Army, July 1965.
2. — TM 5-820-3, *Subsurface drainage facilities for Airfields*, Corps of Engineers, U. S. Army, March 1965.
3. — TM 5-852-6, *Calculation method for determination of depths of freeze and Thaw in soils*, Corps of Engineers, U. S. Army, January 1966.
4. — TM 5-822-6, *Rigid pavements for roads, streets, walks and open storage areas*, Corps of Engineers, U. S. Army, April 1969.
5. — TM 5-822-5, *Flexible Pavements design for roads, streets, walks and open Storage Areas*, Corps of Engineers, June 1971.
6. — *Investigations into the local dependence of air-freezing index on elevation*, Pierre H. Berube and George D. Gilman, U. S. Army Terrestrial Sciences Center, September 1968.
7. — *Ensayo de congelamiento para determinar la susceptibilidad de los suelos a la helada*, C. W. Kaplan. Trad. G. O. Venier. Dirección Nacional de Vialidad, 1972.
8. — *Diseño de carreteras y aeropuertos considerando el efecto de las heladas*, Corps of Engineers. Traducción: G. O. Venier y R. Kahan. Dirección Nacional de Vialidad, 1972.
9. — E. Y. YODER, *Principles of pavement design*, 1959.
10. — *Frost penetration below highway and airfield pavements*, Harl P. Aldrich, Jr., Highway Research Board, Bulletin 135, 1956.
11. — *Thermal proportion of soils*, Miles S. Kensten. Highway Research Board. Special Report Number 2, 1952.
12. — Highway Research Board, number 33, *Pavement design in frost areas*, 11 reports, 1963.
13. — *Discussion on frost heaving*. Casagrande. Highway Research Board. Proceedings, Vol. 11, pt. 1, 1931.

- 14. — Estadísticas Meteorológicas, Servicio Meteorológico Nacional.
- 15. — Highway pavement design in frost areas, Part I, Basic considerations Highway Research Board, Bulletin 225.
- 16. — The frost susceptibility of soils and road materials, D. Gronney and J. C. Jacobs, R.R.L. Report L.R. 90, 1967
- 17. — Conception et Construction de Chaussées, C. Jeuffrey.

ACLARACION DEL ING. SAUTEREY (Traducción)

Diré algunas palabras acerca de lo que nosotros hacemos en Francia en cuanto a este problema del congelamiento. En ese país, en el hemisferio norte que es el más frío, tenemos una región entera de Francia donde las temperaturas de invierno están bajo el cero, 10 grados regularmente en los inviernos normales y frecuentemente pueden bajar hasta -22° en inviernos muy rigurosos. Conocemos los índices de congelamiento y disponemos además de mapas de los índices de congelamiento partiendo de la parte Oeste de 0 hasta llegar a 300 en la parte NO y también en los Alpes, así como en el macizo central. Estos mapas se han confeccionado merced a la colaboración entre los servicios de Ponts et Chaussées y el de Meteorología.

Conocemos además las profundidades de congelamiento merced a un aparato que hemos comentado anteriormente en esta Comisión. En todos los caminos de la zona hay como mil aparatos en servicio ya y en todos los inviernos se hace relevamiento regular de la profundidad de congelamiento. En la región de París, en inviernos normales es de 40 a 50 cm.; en inviernos rigurosos de 60 a 70 cm. En inviernos excepcionales —para nosotros un invierno excepcional ha sido el del 62 al 63— 80 a 90 cm. En el Este y en el Norte, 70 a 80 cm. en inviernos normales, aproximadamente 1 m. en inviernos rigurosos y en los excepcionales entre 1,20 y 1,50 m.

Lo que es grave es que toda esa región es la más industrializada de Francia y es la región donde es necesario que la circulación del tránsito pesado pueda efectuarse también en invierno. Así, hemos hecho varios trabajos para determinar la manera de construir calzadas que resistan al congelamiento.

Para que éste se produzca, es necesaria la conjunción de tres factores, a saber: el suelo, el frío y el agua. El conjunto de estos tres factores es el que produce las fallas. Para eliminarlas, basta eliminar uno de los tres factores.

Para eliminar el primero —es la técnica a que se han referido los oradores— debe disponerse debajo de la calzada cierto espesor de materiales anticongelantes tal que el espesor de la calzada más el espesor de esta capa anticongelante sea superior en cierta proporción al espesor total de congelamiento. Si la proporción total no se llega a obtener nos conformaremos con la proporción 0,8 con respecto a la profundidad necesaria para inviernos excepcionales. Esto nos lleva a espesores muy importantes de esta capa anticongelante, con un costo muy apreciable de materiales. Por lo tanto, hemos de usar otras técnicas que actúen sobre los otros dos parámetros.

Para eliminar la acción del frío, una solución consiste en colocar debajo de la calzada un material de alta aislación térmica; p. ej. una capa de es-

puma de poliuretano y se puede constatar así que una capa de 5 cm. de ese material puede llegar a disminuir la profundidad de congelamiento en 30 ó 40 cm.

El problema es saber cómo esa capa de espuma habrá de comportarse desde el punto de vista mecánico, puesto que por acción de los esfuerzos del tránsito puede haber una compactación de la misma y es posible que esta pierda sus propiedades.

Otra solución es eliminar el agua. Para ello, debajo de la calzada a una profundidad igual a la de congelamiento se coloca una membrana de polietileno con la cual se cubre completamente el suelo que está debajo de la calzada.

Hemos construido calzadas experimentales con esta técnica pero sin embargo seguimos con un pequeño problema, porque hemos construido estas calzadas en 1964/65, vale decir después de ese invierno muy riguroso que les mencioné y desde ese momento no hemos tenido en Francia inviernos tan rigurosos y es por ello que no disponemos del resultado exacto que habría podido lograrse.

Estas tres soluciones tienen un inconveniente, y es que no pueden aplicarse sino en el caso de que se construyan calzadas nuevas en las que siempre hay que poner algo debajo de la misma, y es por ello que no se pueden aplicar en el caso de refuerzo de calzadas. En estos últimos casos se ha tomado la solución de dejar que el fenómeno de congelamiento y descongelamiento se produzca normalmente, pero calcular el refuerzo para que cuando los suelos en deshielo hayan sufrido la licuación completa, las deformaciones en la calzada antigua y el refuerzo sean inferiores a las que puede soportar el material.

Esto nos lleva a espesores muy importantes de refuerzo con materiales rígidos, pero tal espesor no es verdaderamente calculado para el refuerzo, está calculado para el reacondicionamiento de la calzada.

Hace cuatro años que hemos vuelto a hacer completamente la ruta de París a Estrasburgo. Hemos hecho refuerzos con 30 cm. de grava arenosa (escoria) y 8 cm. de concreto bituminoso. Esperamos que con estas soluciones la calzada podrá resistir aún en el momento del deshielo. Estimamos que en este momento un suelo que es heladizo podría tener módulo que se encuentre entre 50 y 150 Bars. Esto es muy débil desde luego y hoy en día hacemos ensayos de congelamiento de suelos y después de cierto tiempo pensamos poder juntarnos con el comportamiento mecánico del suelo previo al deshielo.

Dr. PINILLA. —El problema de la congelación en los pavimentos preocupa a muchos países del mundo. Casi todos los países del hemisferio norte se ven afectados por este problema y nosotros solamente en la zona sur de nuestro país, vecinas a Chile, en que tenemos temperaturas muy bajas.

En la última reunión realizada en Londres sobre diseño estructural de pavimentos asfálticos, en el Comité en que me tocó actuar se habló bastante de este tema, había dos o tres trabajos que vinieron a mi memoria ahora con motivo de una exposición que hizo el Ing. Sauterey.

En ese panel se discutió en dos trabajos la influencia de distintos materiales aislantes que actuaran impidiendo la transmisión del calor. Uno de los materiales que nombró el Ing. Sauterey me hizo recordar los otros. El habló de la espuma de poli-

relano. Unos investigadores de Suecia, que han realizado también caminos experimentales, de varios años en servicio, utilizaron creo dos alternativas que las puedo resumir así.

En la primera de ellas usaron espuma de poliestireno, que es lo que comercialmente se conoce en nuestro medio con el nombre de telgopor, ya sea telgopor de alta densidad o sea bastante compactado, o telgopor suelto y luego realizaron todos los tratamientos y todas las bases de acuerdo a las técnicas convencionales. El resultado final bastante malo, pues lógicamente el material es muy compresible y actuando en una base, el pavimento se deformó en una forma bastante sensible en pocos meses.

La segunda experiencia se refiere a un material que si no tiene un coeficiente k tan elevado como el que tiene el polietileno expandido, con valores semejantes al corcho, utilizaron en cambio arcilla expandida. Los resultados obtenidos con este tipo de material, que tiene una estructura mucho más rígida y por lo tanto mayor resistencia a la compresión, fueron altamente satisfactorios en Suecia. De modo que lo traigo aquí como una inquietud de que se pudieran realizar en nuestro medio ensayos empleando materiales de arcilla expandida para la solución de estos problemas que nos preocupan en estos momentos. Desde luego que habría que hacer un balance económico para ver si esta es posible desde el punto de vista de una carretera de gran extensión, pero yo creo que tal vez pudiera ser posible en pavimentos de ciudades donde las áreas son considerablemente menores. Lo dejo pues como una sugerición para los autores y los Delegados aquí presentes.

Dr. RUIZ. — Yo creo que el problema que se está considerando hay que fraccionarlo en dos. Son dos problemas y los dos problemas son los siguientes, originados en el agua.

El suelo cuando se hiela, del porcentaje de humedad que tiene, parte de esa humedad pasará a hielo, no actúa como agua sino como sólido, y la capacidad de succión del suelo aumenta, expresado en los términos comunes p_f (potencial de humedad que tiene, parte de esa humedad pasará a el deshelado nos encontramos con un suelo sobresaturado y hay que drenar el agua. Ese es el problema fundamental. Hay helamiento, donde se producen las tres condiciones que mencionó el Ing. Sauterey. En cualquier lugar de la estructura, si hay un suelo de esta naturaleza, ese suelo va a succionar más agua que la que le corresponde a la temperatura normal. Ese es un problema, problema que se hace crítico en los lugares donde el invierno es permanente, como es el caso de gran parte de Estados Unidos y Canadá, y en algunos casos de partes de la Patagonia.

El otro problema es el problema de helamiento, intermitente digamos, de profundidad no muy grande que ocurre en buena parte de la Patagonia, del lado del Atlántico, es menos crítico. Es un problema en el que hay que drenar el agua para evitar que penetre en la estructura. Hay que drenar los primeros 10 cm porque los de abajo están impermeabilizados. Entonces el problema fundamental dicho en sus términos básicos es drenaje superficial o muy poco profundo. Son dos problemas distintos.

Entonces, ir a una zona y aplicar una técnica que corresponde al primero y el caso es el segundo; es un error, y la inversa también. En este sentido un proyectista, cuando toma un lugar del país, lo primero que tiene que hacer es ubicarse en cuál de los dos problemas del helamiento está su caso particular.

Ing. ADJIMAN. — Efectivamente teníamos noticias de la existencia de trabajos en la Argentina, y particularmente el Ing. Venier y yo hemos tenido la oportunidad profesional de participar en algunos de ellos, en la ruta 3, en la 293, en Mendoza, en varios trabajos similares. Pero lo que habíamos observado precisamente, y eso es a la carencia en que más énfasis pusimos, es la existencia de un ensayo de laboratorio, digamos argentino. No a la existencia de estudios o de presentaciones previas en trabajos profesionales. Si tenemos o no tenemos suficientes informes meteorológicos, no creo que sea un problema subjetivo. Las precisiones de la gente que ha estudiado mucho el problema, que pienso que son los americanos, señalan la necesidad de densificar esas informaciones a menos de 100 km. una de las otras. Nosotros estamos muy, muy lejos de eso. Los resultados aconsejan eventualmente extrapolarlos hasta 160 km. Además, entre nosotros muy pocas de las informaciones tienen los 30 años de tradición que se requeriría para poder utilizarlas. Para poder promediarlas. Nos encontramos con que una serie de estaciones meteorológicas de la Cordillera están clausuradas y que funcionan solamente en los catálogos. Otras poseen informaciones que son contradictorias y este trabajo, que es la síntesis de otro un poco más amplio, pretendía también hacer ese mapa de líneas de igual índice de congelamiento, pero no nos pareció que era fiable con esos elementos que teníamos a la vista para poder lanzarlo para su utilización profesional. Entonces yo insisto en la necesidad de por lo menos registrar temperatura en los puestos camineros en las zonas frías.

Otro punto. Esa pequeña polémica que existe respecto a si se debe decir capa anticongelante o capa drenante tiene un sentido. Base anticongelante se dice a la totalidad de la estructura dispuesta para soportar la penetración de la helada y capa drenante se llama a los 10 cm. inferiores de esa capa anticongelante que se acostumbra a hacer de materiales de mejores condiciones de resistencia a la helada. Esa es la prescripción que hace el cuerpo de Ingenieros y la diferenciación entre capa anticongelante y capa drenante.

Ampliando un poco más el problema de la eliminación del agua, hemos intercalado algunas posibilidades de drenaje a través de caños perforados y mencionaremos que existe una publicación expresa de drenajes sub-superficiales, que lleva el número TM 5-820-2 del Corps of Engineers que pretende resolver el problema.

Pasando a otro tema, evidentemente nosotros no tenemos un problema tan agudo como puede tenerlo Francia, Estados Unidos o Suecia, en el sentido que nuestras zonas heladizas no son las zonas de mayor tránsito en el país. Sin embargo el problema de heladas existe y es suficientemente grave. Muy cerca, aquí en Mendoza, registramos 600 grados día en la ruta 7. Posiblemente esa sea una de las marcas más bajas en el país.