

I. Disposiciones generales

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

ORDEN de 21 de marzo de 1963 por la que se aprueba la instrucción de la Dirección General de Carreteras 6.I IC sobre «firmes flexibles».

Ilustrísimos señores:

La Orden ministerial de 27 de junio de 1961, que derogó la instrucción de Carreteras vigente en aquella fecha, autorizó a la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales para dictar, por órdenes circulares, las normas necesarias para la redacción de proyectos de carreteras. Dichas normas habrían de sustituir a la instrucción derogada, hasta que por Orden ministerial se aprobasen las instrucciones correspondientes a las distintas cuestiones que se mencionaban. Entre ellas figuraba la de «firmes y pavimentos».

Con fecha 13 de julio de 1961 se redactó la Orden-circular 6.I IC referente a «firmes y pavimentos flexibles», que se comunicó a los Servicios y desde dicha fecha ha venido siendo utilizada en la redacción de los proyectos correspondientes.

Informada por el Consejo de Obras Públicas, es procedente su aprobación definitiva, y, en su virtud,

Este Ministerio ha tenido a bien disponer:

Primero.—Se aprueba la instrucción de la Dirección General de Carreteras 6.I IC, sobre «firmes flexibles», que figura como anejo a esta Orden.

Segundo.—En la redacción de los proyectos de firmes y flexibles de carreteras se tendrán en cuenta las normas y recomendaciones que figuran en la instrucción que se aprueba.

Lo que comunico a VV. II. para su conocimiento y efectos. Dios guarde a VV. II. muchos años.
Madrid, 21 de marzo de 1963.

VIGON

Ilmos. Sres. Directores generales de este Ministerio.

INSTRUCCION 6.I IC SOBRE «FIRMES FLEXIBLES»

1. OBJETO

El objeto de la presente Instrucción es facilitar la labor del Ingeniero que ha de proyectar «firmes flexibles» poniendo a su disposición una serie de recomendaciones y secciones tipo, con el fin de que puedan servirle de ejemplo en los casos concretos que tenga que resolver.

2. DEFINICIONES

A los efectos de la presente Instrucción, se establecen las siguientes definiciones:

Firme flexible: Es el conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados y colocadas sobre la explanada, que poseen la propiedad de adaptarse a los asentos o deformaciones del terreno sobre el que se construyen.

Pavimento: Es la capa superior del firme colocada sobre la base y que queda en contacto directo con el tráfico.

Base: Es la capa del firme situada inmediatamente debajo del pavimento.

Sub-base: Es la capa del firme situada inmediatamente debajo de la base.

Explanada mejorada: Es la capa del firme situada bajo la sub-base y sobre el terreno que compone la explanada o, en su caso, sobre la capa anticontaminante.

Capa anticontaminante: Es la capa que se coloca sobre la explanada cuando por la naturaleza del suelo es de temer la contaminación del firme.

Explanada: Es el asiento del firme, y está constituida por el material con el que se han ejecutado los terraplenes, o que

ha quedado al descubierto una vez efectuadas las operaciones de desmonte.

Obras de explanación: Conjunto de obras exigidas por el relieve del terreno para lograr la explanada, con arreglo a los perfiles y pendientes que figuran en los planos. Se componen de obras de tierra y obras de fábrica, aplicándose la primera de estas denominaciones aunque el material predominante sea piedra.

Base granular: Es la base constituida por áridos minerales cuya estabilización se consigue mediante medios mecánicos.

Base bituminosa: Es la base constituida por áridos minerales íntimamente unidos por la aplicación de un ligante bituminoso.

Riego de imprimación: Es la aplicación de un ligante bituminoso que penetra por capilaridad en una base granular.

Riego de adherencia: Es la aplicación de un ligante bituminoso sobre un pavimento, con el fin de conseguir su unión con otro que ha de ejecutarse posteriormente.

Simple tratamiento superficial: Es la aplicación de un ligante bituminoso sobre una superficie, a la que seguirá su cubrición con una capa de árido que se compactará debidamente.

Doble tratamiento superficial: Es la aplicación de dos simples tratamientos superficiales, el segundo de los cuales se realizará con árido de dimensiones inferiores a las empleadas en el primero.

Mezcla bituminosa en frío: Es la combinación de áridos y un ligante bituminoso, para realizar la cual no se precisa calentar previamente los áridos. El ligante será necesario calentarlo o no según su viscosidad original en relación con la que se requiera para su mezcla con los áridos. La mezcla se extenderá y compactará a la temperatura ambiente.

Mezcla bituminosa en caliente: Es la combinación de áridos y un ligante bituminoso, para realizar la cual se precisa calentar previamente los áridos. El ligante será necesario calentarlo o no según su viscosidad original en relación con la que se requiera para su mezcla con los áridos. La mezcla se extenderá y compactará a temperatura superior a la del ambiente.

Limo: Fracción de suelo cuyo tamaño oscila entre 0,02 mm. y 0,002 mm.

Arcilla: Fracción de suelo cuyo tamaño oscila entre 0,002 milímetros y 0,0002 mm.

Granulometría continua: La que corresponde a un árido o suelo uniformemente graduado en todos sus tamaños, desde los más gruesos hasta los más finos.

Granulometría discontinua: La que corresponde a un árido o suelo al que le faltan tamaños intermedios.

Índice de helada: Es la máxima diferencia entre los puntos máximos y mínimos del diagrama constituido, tomando como abscisas el tiempo y como ordenadas los días grado centígrado acumulados.

Un día grado centígrado representa un día en el que la temperatura media del aire ha sido de un grado centígrado bajo cero (-1° C).

3. FACTORES A CONSIDERAR PARA EL CÁLCULO

3.1. Análisis del tráfico

Una carretera debe calcularse para soportar una determinada intensidad de tráfico, en la hipótesis de una carga máxima por eje o rueda.

A tal efecto, el tráfico se ha clasificado, en función de su intensidad media diaria (IMD), en los tres grupos siguientes:

Tráfico ligero (L) —	IMD < 500
Tráfico medio (M) —	500 < IMD < 2.000
Tráfico pesado (P) —	2.000 < IMD

Como coeficiente de seguridad puede aceptarse una carga de cálculo de vez y media (1,5) la máxima carga admisible, con lo que en España y en el momento actual, partiendo de la carga autorizada de diez toneladas (10 t.) por eje, podría aceptarse como dato la de quince toneladas (15 t.) por eje.

3.2. Análisis de los materiales existentes

El segundo factor a considerar es el conocimiento de los materiales que por su proximidad u otras razones pueden ser utilizados en la ejecución de la obra, para lo que se determinan directamente sus condiciones mediante ensayos, complementados con otros que permiten su identificación y posterior clasificación.

Como es natural, el proyecto de un firme flexible es, fundamentalmente, un problema económico en cuyo planteamiento se ha de conjugar la naturaleza de los materiales disponibles con su coste, a fin de elegir la mejor solución entre las varias que se pueden presentar.

4. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

4.1. Cálculo del espesor total

El firme, en general, estará formado por cuatro capas cuya denominación ordenada, desde la que está en contacto inmediato con las cargas producidas por el tráfico, hacia abajo, será la siguiente: Pavimento, base, sub-base y explanada mejorada. Como consecuencia de su situación, la resistencia de cada una de estas capas será menor que la de la capa que le precede.

Definidos, según 3.1., el tráfico y la máxima carga normal por eje que ha de soportar la carretera cuyo firme flexible se proyecta, su espesor total depende, inicialmente, de la naturaleza de los materiales que componen la explanada. En general su variabilidad es grande, y aun cuando, en principio, parece que la solución más económica sería la de adoptar los espesores de firme que requiere cada tipo de suelo que ha de soportarlo, la experiencia demuestra que deben evitarse en lo posible los cambios de sección, por lo que conviene fijar, a lo largo de la traza, un número reducido de secciones tipo, obtenidas a partir de criterios encauzados a uniformar teóricamente los diferentes suelos que componen la explanada.

Los procedimientos de cálculo de espesores de firmes flexibles son muchos y variados. Dados los medios de ensayo de que se dispone, se recomienda la utilización del método «Índice Resistente de California» (CBR) (figura 4.1.1.) (1) o, en su defecto, del llamado «Índice de Grupo» (figuras 4.1.2. y 4.1.3.).

4.2. Reducciones de espesor total

La utilización de pavimentos y bases bituminosas permite la reducción del espesor total calculado, aceptándose que un centímetro (1 cm.) de capa bituminosa equivale a un centímetro y medio (1,5 cm.) de base granular.

Esta reducción, que puede generalizarse al empleo de otras bases estabilizadas mediante la adición de diferentes productos, tales como el cemento, en ningún caso ha de ser superior a ocho centímetros (8 cm.) o al quince por ciento (15 %) del espesor total calculado, debiendo adoptarse la limitación menor.

(Nota: El problema que plantean los coeficientes de equivalencia y la consiguiente reducción de espesores se encuentra en este momento en plena discusión. El coeficiente propuesto está sometido a revisión, y por tanto su valor tiene carácter provisional.)

5. CONDICIONES GENERALES DEL FIRME Y DE CADA UNA DE LAS CAPAS QUE LO COMPOEN

5.1. Firme

Tendrá el espesor total calculado por los procedimientos que se especifican en el apartado 4.1., aplicando para la base y el pavimento, en su caso, los coeficientes y limitaciones especificadas en 4.2.

Estará compuesto, en general, de las siguientes capas: Pavimento, base, sub-base y explanada mejorada. Cada una de ellas podrá subdividirse en dos o más capas, según lo aconsejen las circunstancias locales, cumpliendo, en todo caso, la condición de que cada capa tenga una resistencia superior a la inmediata inferior.

5.2. Pavimento.

Sus funciones más importantes son:

- a) Dotar al firme de una superficie de rodadura cómoda y segura para el tráfico.
- b) Impermeabilizar el firme con el fin de evitar la acción perniciosa del agua y del hielo.
- c) Aumentar la resistencia del firme.

En las secciones estudiadas se han considerado los siguientes tipos de pavimento:

- Simple tratamiento superficial (STS).
- Doble tratamiento superficial (DTS).
- Mezclas bituminosas en frío o en caliente (MB).

Su espesor es función única y exclusiva del tráfico y, así, en el caso de utilización de mezclas bituminosas se han adoptado los valores siguientes:

- Para tráfico medio — 7,5 centímetros
- Para tráfico pesado — 10,0 centímetros

Si se utilizan bases bituminosas, las cifras dadas pueden reducirse hasta un mínimo de cinco centímetros (5 cm.), siempre que el espesor de la base se aumente en la misma cantidad en que se haya disminuido el espesor del pavimento.

5.3. Base

En las secciones estudiadas se han considerado los siguientes tipos de base:

- Base granular.
- Base bituminosa.

Ello no excluye el proyecto de bases distintas a las indicadas, como, por ejemplo, las estabilizadas con cemento, equiparables a las bituminosas desde el punto de vista resistente.

Su espesor, igual que en el caso del pavimento, es función del tipo de tráfico, y se han adoptado, como espesores mínimos del pavimento más la base, tomando como unidad el centímetro de base granular los valores siguientes:

- Para tráfico ligero — 20 centímetros
- Para tráfico medio — 25 centímetros
- Para tráfico pesado — 30 centímetros

Las cifras dadas pueden reducirse en su valor absoluto mediante la aplicación del coeficiente de equivalencia definido en el apartado 4.2., con las limitaciones señaladas en el citado párrafo.

En las zonas en que haya que tener en cuenta el «efecto helada», las bases granulares cumplirán las condiciones que más adelante se señalan al tratar de este tema (apartado 7).

Cuando, por cualquier circunstancia, la base haya de colocarse sobre un suelo que haga temer la contaminación de aquella, deberá intercalarse una capa anticontaminante de diez centímetros (10 cm.), espesor que, constructivamente, se considera mínimo y que no debe computarse a efectos resistentes, como parte integrante del firme. La capacidad resistente del material que se utilice en su ejecución será igual o superior a la del que le sirve de soporte.

Las densidades que deben exigirse a las bases granuladas, definidas en % de las obtenidas mediante el ensayo Proctor modificado, cuando tal ensayo pueda realizarse, son las siguientes:

- Para tráfico ligero — 95 %
- Para tráfico medio — 98 %
- Para tráfico pesado — 100 %

5.4. Sub-base

En general, los materiales empleados en su ejecución serán materiales locales y su capacidad resistente debe definirse de acuerdo con los espesores previstos para la base y el pavimento.

Como condiciones de aplicación general suelen darse las siguientes:

$$CBR > 20 \quad \text{LL} < 25 \quad \text{IP} < 6 \quad \text{EA} > 25$$

CBR: Índice resistente de California — LL: Límite líquido — IP: Índice plástico — EA: Equivalente de arena.

Además, y al igual que se ha indicado en 5.3., en las zonas en que haya que tener en cuenta el «efecto helada», la sub-base cumplirá las condiciones que más adelante se señalan al tratar de este tema (apartado 7).

En muchos casos, algunos materiales locales, que por sus condiciones de plasticidad o granulometría no podrían utilizarse, pueden emplearse mediante la adición de determinados productos estabilizadores.

El tamaño máximo del material en ningún caso debe ser superior a los tres cuartos (3/4) del espesor de la capa extendida.

En las secciones estudiadas, en las que se ha previsto sub-base, se ha considerado un espesor constante de diez centímetros.

metros (10 cm.), ya que, dadas las condiciones de capacidad resistente que se exigen para la explanada mejorada, es suficiente dicho espesor unido al establecido, por efecto del tráfico, para base y pavimento.

Cuando, por cualquier circunstancia, la sub-base haya de colocarse sobre un suelo que haga temer la contaminación de aquella, deberá intercalarse, al igual que se ha señalado en 5.3., una capa anticontaminante de diez centímetros (10 cm.), espesor que, constructivamente, se considera mínimo y que no debe computarse, a efectos resistentes, como parte integrante del firme.

La capacidad resistente del material que se utilice en su ejecución será igual o superior a la del que le sirva de soporte.

La compactación a exigir en la ejecución de la sub-base debe ser, en todos los casos, la necesaria para alcanzar el 95 % de la densidad obtenida mediante el ensayo Proctor modificado.

5.5. Explanada mejorada

Puede considerarse como una sub-base de baja calidad.

Las condiciones de aplicación general suelen ser las siguientes:

$$CBR > 8 \quad , \quad LL < 30 \quad , \quad IP < 10 \quad , \quad EA > 25$$

Además, y al igual que se ha indicado en 5.3. y 5.4., en las zonas en que haya que tener en cuenta el «efecto helada», la explanada mejorada deberá cumplir las condiciones que más adelante se señalan al tratar de este tema (apartado 7).

En general, los materiales locales que se emplean en la construcción de la explanada mejorada cumplen las condiciones de capa anticontaminante. Si así no fuera, es de aplicación cuanto se ha dicho en 5.3 y 5.4 respecto al particular.

La densidad que debe exigirse a esta capa es la del 95 % de la obtenida en el ensayo Proctor modificado.

5.6. Capa anticontaminante

Cuando el suelo de la explanada tenga carácter plástico la capa inferior del firme, normalmente la inferior de la sub-base o la de la explanada mejorada, deberá cumplir las condiciones precisas para evitar su contaminación y, por tanto, las siguientes:

Siendo D., la dimensión del tamiz por el que pasa el 15 %, en peso, de los materiales que componen la capa del firme y d., la del tamiz por el que pasa el 85 %, en peso, de los materiales de la explanada, se verificará:

$$D. < 5 d.$$

condición que en determinados casos puede sustituirse por la de:

$$D. < 0.1 \text{ mm.}$$

Si la capa inferior del firme no cumple las condiciones indicadas, de acuerdo con lo señalado en los apartados 5.3 y siguientes, deberá intercalarse entre el firme y la explanada una capa anticontaminante de diez centímetros (10 cm.), espesor que, constructivamente, se considera mínimo y que no debe computarse, a efectos resistentes, como parte integrante del firme.

El material que se utilice en su ejecución tendrá una capacidad resistente igual o superior a la del que le sirve de soporte, y además cumplirá las siguientes condiciones:

$$LL < 30 \quad , \quad IP < 10 \quad , \quad EA > 25$$

6. DRENAJE

El proyectista deberá estudiar con todo cuidado las disposiciones precisas para asegurar el perfecto drenaje de la explanada, firme, arcenes y mediana, sin olvidar que si importante es el efecto del agua de lluvia, del agua de escorrentía y de la subterránea, no lo es menos el del agua capilar y el del vapor de agua que se condensa bajo el pavimento.

7. EFECTO HELADA

El efecto helada, fenómeno debido a la formación de cristales de hielo debajo del pavimento, puede ser causa de hinchamientos desiguales en la carretera y de graves averías en el firme al producirse el deshielo. Los suelos susceptibles al efecto helada se han clasificado (2) en los grupos que a continuación se reseñan, ordenados por su susceptibilidad de menor mayor.

Grupo	Descripción del suelo
F 1	Gravas que contienen entre el 3 % y el 20 %, en peso, de material inferior a 0.02 mm.
F 2	Arenas que contienen entre el 3 % y el 15 %, en peso, de material inferior a 0.02 mm.
F 3	a) Gravass que contienen más del 20 %, en peso, de material inferior de 0.02 mm. b) Arenas, excepto arenas limosas finas que contienen más del 15 %, en peso, de material inferior a 0.02 mm. c) Arcilla con IP > 12. d) Arcillas estratificadas en condiciones de formación uniformes.
F 4	a) Todos los limos, incluso los limos arenosos. b) Arenas limosas finas que contienen más del 15 %, en peso, de material inferior a 0.02 mm. c) Arcilla con IP < 12. d) Arcillas estratificadas en condiciones de formación no uniformes.

Mientras la experiencia española no permite fijar un criterio para nuestro país, el espesor preciso podrá calcularse por cualquiera de los métodos actualmente en uso, los cuales, de acuerdo con el objeto que persiguen suelen clasificarse de la forma siguiente:

7.1. Cálculo del espesor de firme necesario para evitar la formación de hielo en la explanada.

A este grupo pertenece el ábaco de la figura 7.1.1., en el que el espesor requerido se obtiene a partir del índice de helada (figura 7.1.2.). Dicho ábaco ha sido preparado (3) para su empleo en el cálculo de firmes flexibles en aeropuertos, razón por la que, como puede observarse, no incluye, como variable, la intensidad de tráfico.

Este procedimiento de dimensionamiento debe utilizarse si el suelo de la explanada pertenece al grupo F 4 y cuando, siendo de uno de los grupos F 1, F 2 ó F 3, sean de temer hinchamientos desiguales de la carretera por la formación de hielo.

7.2. Cálculo del espesor de firme necesario teniendo en cuenta la disminución de resistencia de la explanada en la época de deshielo, consecuencia de admitir la formación de hielo en la misma

A este grupo pertenece el ábaco de la figura 7.2. (4).

La dificultad que supone prever las consecuencias del «efecto helada» en cuanto se refiere a la posibilidad de hinchamientos desiguales de la carretera, hace recomendable la utilización del sistema expuesto en 7.1.

En todo caso, se adoptará el mayor de los espesores deducidos de considerar el «efecto helada» y de aplicar cualquiera de los métodos señalados en el apartado 4.1.

Los materiales empleados en la ejecución del firme deberán ser insensibles al «efecto helada» para lo cual es preciso que además de ser no plásticos ($LL < 25$ $IP < 6$ $EA > 30$), cumplan en granulometría las exigencias siguientes:

a) Gravass de granulometría continua.

Fracción, en peso, que pase por el tamiz número 200 ASTM (0.074 mm.) < 8 %.

b) Gravass de granulometría discontinua o arenas gruesas que pasan por el tamiz número 4 ASTM (4.76 mm.).

Fracción, en peso, que pase por el tamiz número 200 ASTM (0.074 mm.) < 10 %.

Fracción, en peso, que pase por el tamiz número 270 ASTM (0.053 mm.) < 5 %.

c) Arenas finas que pasan por el tamiz número 40 ASTM (0.42 mm.).

Fracción, en peso, que pase por el tamiz número 200 ASTM (0.074 mm.) < 18 %.

Fracción, en peso, que pase por el tamiz número 270 ASTM (0.053 mm.) < 8 %.

Los Ingenieros en cuyas jurisdicciones existan carreteras con peligro de helada, darán cuenta, a la Dirección General de Ca-

carreteras, de la experiencia obtenida por la aplicación del método usado, a fin de ir formando un criterio español que permita, como en otros países, ir dando normas concretas fundadas en una experiencia nacional.

4. ARCENES

Los arceles, además de cumplir su misión como zonas de estacionamiento y seguridad para los vehículos, desempeñan una función eminentemente resistente, de contención lateral del firme, y de gran repercusión en la durabilidad de la carretera que se proyecta.

Si es económicamente factible, su estructura debe ser una prolongación de la que compone la calzada, en cuanto se refiere a sus capas inferiores, explanada mejorada, sub-base y base. En el caso de que se desee dotar de pavimento a los arceles, suelen emplearse tratamientos superficiales con áridos de cubrición de color claro que permiten su completa diferenciación con la calzada, con independencia de las marcas en el pavimento que puedan adoptarse.

9. CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS

Una de las innegables ventajas que ofrecen los firmes flexibles es el acondicionamiento de la carretera por etapas, permitiendo adaptarse a futuros aumentos de tráfico, mediante la construcción de nuevas capas sobre las existentes con el consiguiente aprovechamiento.

En general, estas nuevas capas deberán ejecutarse a base de mezclas bituminosas.

10. SECCIONES TIPO

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se han estudiado once (11) secciones tipo que se describen a continuación.

10.1. Secciones para tráfico ligero

10.1.1. Sección 1 L (Figura 10.1.1.)

a) Si el espesor calculado es superior a 30 mm., la calzada la componen:

- Una base granular de 20 cm. de espesor.
- El resto del espesor requerido se conseguirá mediante explanada mejorada.

b) Si el espesor calculado es inferior a 30 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 20 cm. que componen la base, 10 cm. de explanada mejorada. No obstante, el espesor exigido deberá alcanzarse aumentando el espesor de la base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior. En este caso, el espesor mínimo será de 20 cm., que corresponden al espesor de base adoptado.

c) Si la naturaleza de la explanada hace prever una posible contaminación y la capa inferior del firme proyectado no satisface las condiciones exigibles a una capa anticontaminante, es preciso intercalar entre ellas una capa de tal naturaleza de 10 centímetros de espesor.

10.1.2. Sección 2 L (Figura 10.1.2.)

No tiene más diferencia con la Sección 1 L que la pavimentación de la calzada, consistente en un simple tratamiento superficial, previa aplicación de un riego de imprimación.

10.1.3. Sección 3 L (Figura 10.1.3.)

a) Si el espesor calculado es superior a 30 cm., la calzada la componen:

- Un simple tratamiento superficial.
- Una base bituminosa de 7 cm. de espesor, con sus correspondientes riegos de adherencia, si se estiman pertinentes y la ejecución se realiza en más de una capa.
- Un riego de imprimación.
- Una base granular de 10 cm. de espesor.
- El resto del espesor total equivalente, con las limitaciones que procedan, se conseguirá mediante explanada mejorada.

b) Si el espesor calculado es inferior a 30 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 17 cm. que componen la base, 10 cm. de explanada mejorada. No obstante, el espesor total equivalente que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la base granular, siempre que esta solución sea más económica que la anterior. En este caso,

el espesor mínimo será $0,85 \times 20 = 17$ cm., que equivalen al espesor de base adoptada, sin tener en cuenta el pavimento.

c) Si la naturaleza de la explanada hace prever una posible contaminación y la capa inferior del firme proyectado no satisface las condiciones exigidas a una capa anticontaminante, es preciso intercalar entre ellas una capa de tal naturaleza de 10 centímetros de espesor.

10.2. Secciones para tráfico medio

10.2.1. Sección 1 M (Figura 10.2.1.)

a) Si el espesor calculado es superior a 45 cm., la calzada la componen:

- Un doble tratamiento superficial.
- Un riego de imprimación.
- Una base granular de 25 cm. de espesor.
- Una sub-base de 10 cm. de espesor.
- El resto del espesor requerido se conseguirá mediante explanada mejorada.

b) Si el espesor calculado es inferior a 35 cm., la mejor solución será colocar bajo los 25 cm. que componen la base 10 centímetros de sub-base. No obstante, el espesor exigido deberá alcanzarse aumentando el espesor de la base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior. En este caso, el espesor mínimo será de 25 cm., que equivalen al espesor de base adoptado, sin tener en cuenta el pavimento.

c) Si el espesor calculado está comprendido entre 35 cm. y 45 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 10 cm. que componen la sub-base, 10 cm. de explanada mejorada. No obstante, el espesor requerido deberá alcanzarse aumentando el espesor de la sub-base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior.

d) Si la naturaleza de la explanada hace prever una posible contaminación y la capa inferior del firme proyectado no satisface las condiciones exigibles a una capa anticontaminante, es preciso intercalar entre ellas una capa de tal naturaleza de 10 centímetros de espesor.

10.2.2. Sección 2 M (Figura 10.2.2.)

a) Si el espesor calculado es superior a 45 cm., la calzada la componen:

- Un doble tratamiento superficial.
- Una base bituminosa de 10 cm. de espesor, con sus correspondientes riegos de adherencia si se estiman pertinentes y la ejecución se realiza en más de una capa.
- Un riego de imprimación.
- Una base granular de 10 cm. de espesor.
- Una sub-base de 10 cm. de espesor.
- El resto del espesor total equivalente, con las limitaciones que procedan, se conseguirá mediante explanada mejorada.

b) Si el espesor calculado es inferior a 35 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 20 cm. que componen la base, 10 centímetros de sub-base. No obstante, el espesor total equivalente, que, como mínimo será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la base granular, siempre que esta solución sea más económica que la anterior. En este caso, el espesor mínimo será de $0,85 \times 25 = 21,25$ cm., que equivalen a los 10 cm. de base bituminosa adoptados, más 12 cm. de base granular, sin tener en cuenta el pavimento.

c) Si el espesor calculado está comprendido entre 35 cm. y 45 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 10 cm. que componen la sub-base, 10 cm. de explanada mejorada. No obstante, el espesor total equivalente, que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la sub-base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior.

d) Si la naturaleza de la explanada hace prever una posible contaminación y la capa inferior del firme proyectado no satisface las condiciones exigibles a una capa anticontaminante, es preciso intercalar entre ellas una capa de tal naturaleza de 10 centímetros de espesor.

10.2.3. Sección 3 M (Figura 10.2.3.)

a) Si el espesor calculado es superior a 45 cm., la calzada la componen:

- Un pavimento de 7,5 cm. de espesor, de mezcla bituminosa con sus correspondientes riegos de adherencia, si se estiman pertinentes y la ejecución se realiza en más de una capa.

- Un riego de imprimación.
- Una base granular de 15 cm. de espesor.
- Una sub-base de 10 cm. de espesor.
- El resto del espesor total equivalente, con las limitaciones que procedan, se conseguirá mediante explanada mejorada.

b) Si el espesor calculado es inferior a 36 cm., la mejor solución será colocar bajo los 15 cm. que componen la base 10 centímetros de sub-base. No obstante, el espesor total equivalente que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior. En este caso, el espesor mínimo será de $0.85 \times 25 = 22$ cm., que equivalen a los 7.5 centímetros de pavimento, más los 15 cm. de base adoptados.

c) Si el espesor calculado está comprendido entre 36 cm. y 48 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 10 cm. que componen la sub-base, 10 cm. de explanada mejorada. No obstante, el espesor total equivalente que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la sub-base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior.

d) Si la naturaleza de la explanada hace prever una posible contaminación y la capa inferior del firme proyectado no satisface las condiciones exigibles a una capa anticontaminante, es preciso intercalar entre ellas una capa de tal naturaleza de 10 centímetros de espesor.

10.2.4. Sección 4 M (Figura 10.2.4.)

a) Si el espesor calculado es superior a 44 cm., la calzada la componen:

- Un pavimento de 7.5 cm. de espesor, de mezcla bituminosa, con sus correspondientes riegos de adherencia, si se estiman pertinentes y la ejecución se realiza en más de una capa.
- Una base bituminosa de 10 cm. de espesor, con sus correspondientes riegos de adherencia, si se estiman pertinentes y la ejecución se realiza en más de una capa.
- Un riego de imprimación.
- Una sub-base de 10 cm. de espesor.
- El resto del espesor total equivalente, con las limitaciones que procedan, se conseguirá mediante explanada mejorada.

b) Si el espesor calculado es inferior a 32 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 10 cm. que componen la base, 10 centímetros de sub-base. No obstante, el espesor total equivalente que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la base siempre que esta solución sea más económica que la anterior. En este caso, el espesor mínimo será de $0.85 \times 25 = 22$ cm., que equivalen a los 7.5 cm. de pavimento adoptados, más 14.5 cm. de base bituminosa.

c) Si el espesor calculado está comprendido entre 32 cm. y 44 cm. la mejor solución será colocar bajo los 10 cm. que componen la sub-base, 10 cm. de explanada mejorada. No obstante, el espesor total equivalente que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la sub-base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior.

d) Conservando el espesor total de base más pavimento, pueden variarse los espesores relativos de ambas capas con una equivalencia de un centímetro de pavimento por un centímetro de base bituminosa. En todo caso, el espesor del pavimento no debe ser inferior a 5 cm.

e) Si la naturaleza de la explanada hace prever una posible contaminación y la capa inferior del firme proyectado no satisface las condiciones exigibles a una capa anticontaminante, es preciso intercalar entre ellas una capa de tal naturaleza de 10 centímetros de espesor.

10.3. Secciones para tráfico pesado

10.3.1. Sección 1 P (Figura 10.3.1.)

a) Si el espesor calculado es superior a 50 cm., la calzada la componen:

- Un pavimento de 10 cm. de espesor, de mezcla bituminosa, con sus correspondientes riegos de adherencia, si se estiman pertinentes y la ejecución se realiza en más de una capa.
- Un riego de imprimación.
- Una base granular de 15 cm. de espesor.
- Una sub-base de 10 cm. de espesor.
- El resto del espesor total equivalente, con las limitaciones que procedan, se conseguirá mediante explanada mejorada.

b) Si el espesor calculado es inferior a 40 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 15 cm. que componen la base, 10 centímetros de sub-base. No obstante, el espesor total equivalente que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior. En este caso, el espesor mínimo será de $0.85 \times 30 = 26$ cm., que equivalen a los 10 cm. de pavimento adoptados, más 16 cm. de base granular.

c) Si el espesor calculado está comprendido entre 40 cm. y 50 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 10 cm. que componen la sub-base, 10 cm. de explanada mejorada. No obstante, el espesor total equivalente que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la sub-base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior.

d) Si la naturaleza de la explanada hace prever una posible contaminación y la capa inferior del firme proyectado no satisface las condiciones exigibles en una capa anticontaminante, es preciso intercalar entre ellas una capa de tal naturaleza de 10 centímetros de espesor.

10.3.2. Sección 2 P (Figura 10.3.2.)

a) Si el espesor calculado es superior a 47 cm., la calzada la componen:

- Un pavimento de 10 cm. de espesor, de mezcla bituminosa con sus correspondientes riegos de adherencia, si se estiman pertinentes y la ejecución se realiza en más de una capa.
- Una base bituminosa de 10 cm. de espesor, con sus correspondientes riegos de adherencia, si se estiman pertinentes y la ejecución se realiza en más de una capa.
- Un riego de imprimación.
- Una sub-base de 10 cm. de espesor.
- El resto del espesor total equivalente, con las limitaciones que procedan, se conseguirá mediante explanada mejorada.

b) Si el espesor calculado es inferior a 35 cm., la mejor solución será colocar, bajo los 10 cm. que componen la base, 10 centímetros de sub-base. No obstante, el espesor total equivalente que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior. En este caso, el espesor mínimo será de $0.85 \times 30 = 26$ cm., que equivalen a los 10 centímetros de pavimento adoptados, más 16 cm. de base bituminosa.

c) Si el espesor calculado está comprendido entre 35 cm. y 47 centímetros, la mejor solución será colocar, bajo los 10 cm. que componen la sub-base, 10 cm. de explanada mejorada. No obstante el espesor total equivalente que, como mínimo, será el 85 % del espesor calculado, deberá alcanzarse aumentando el espesor de la sub-base, siempre que esta solución sea más económica que la anterior.

d) Conservando el espesor total de base más pavimento, pueden variarse los espesores relativos de ambas capas con una equivalencia de un centímetro de pavimento por un centímetro de base bituminosa. En todo caso, el espesor del pavimento no debe ser inferior a 5 centímetros.

e) Si la naturaleza de la explanada hace prever una posible contaminación y la capa inferior del firme proyectado no satisface las condiciones exigibles a una capa anticontaminante, es preciso intercalar entre ellas una capa de tal naturaleza de 10 centímetros de espesor.

10.3.3. Sección 3 P (Figura 10.3.3.)

No tiene más diferencia con la Sección 1 P que la pavimentación de los arcenes, consistente en un simple tratamiento superficial, previa aplicación de un riego de imprimación.

10.3.4. Sección 4 P (Figura 10.3.4.)

No tiene más diferencia con la Sección 2 P que la pavimentación de los arcenes, consistente en un simple tratamiento superficial, previa aplicación de un riego de imprimación.

REFERENCIAS

- (1) Abacos diseñados por el Asphalt Institute.
- (2) Clasificación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.
- (3) Abaco del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.
- (4) Inspirado en los trabajos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

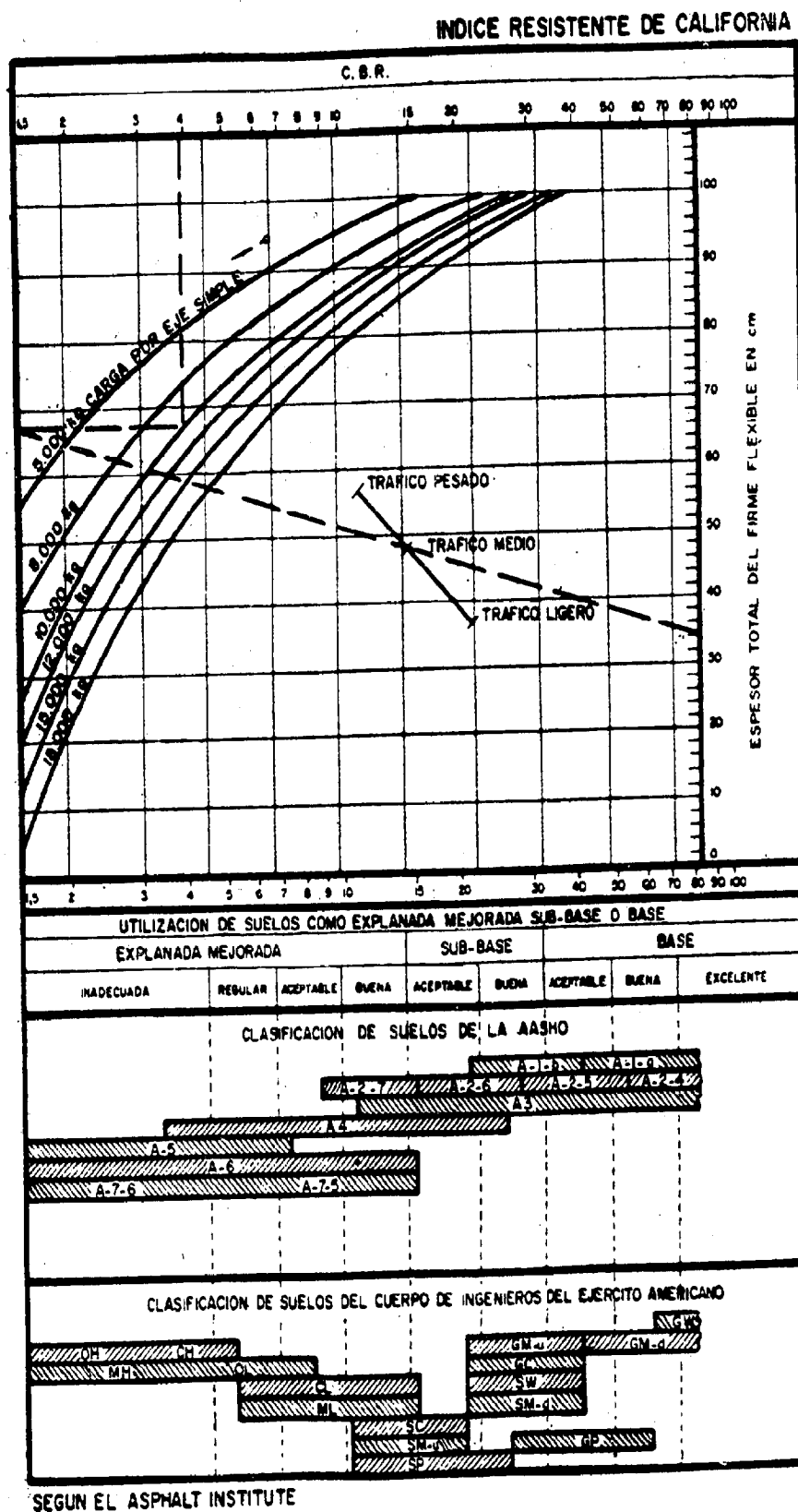


FIGURA 4.1.1

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

INDICE DE GRUPO

$$\text{INDICE DE GRUPO} = IG = a + b$$

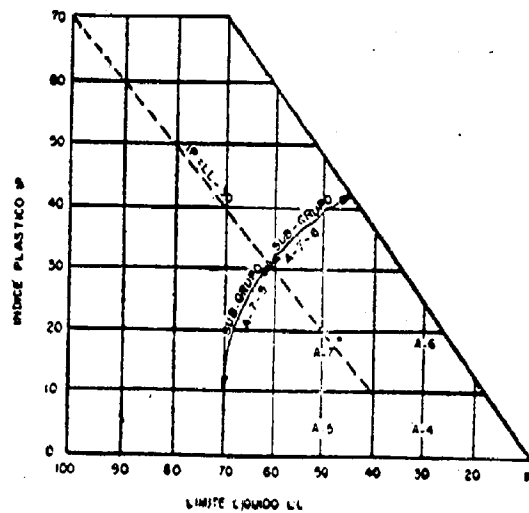
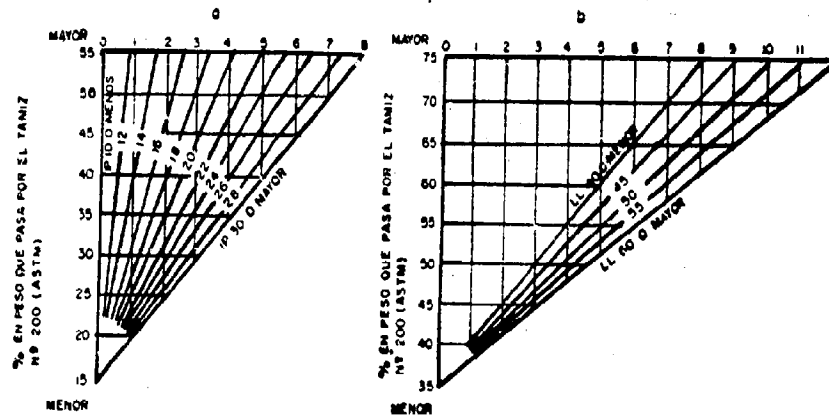
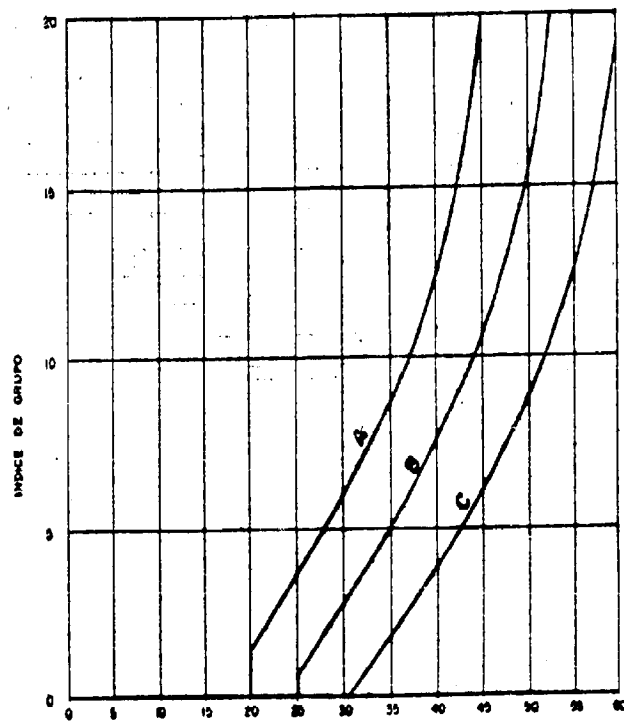


FIGURA 4.1.2

CALCULO DE ESPESORES DE FIRME FLEXIBLES

INDICE DE GRUPO



ESPESOR EN CENTIMETRO.

CURVA A - ESPESOR DEL FIRME PARA TRAFICO LIGERO

CURVA B - ESPESOR DEL FIRME PARA TRAFICO MEDIO

CURVA C - ESPESOR DEL FIRME PARA TRAFICO PESADO

FIGURA 413

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

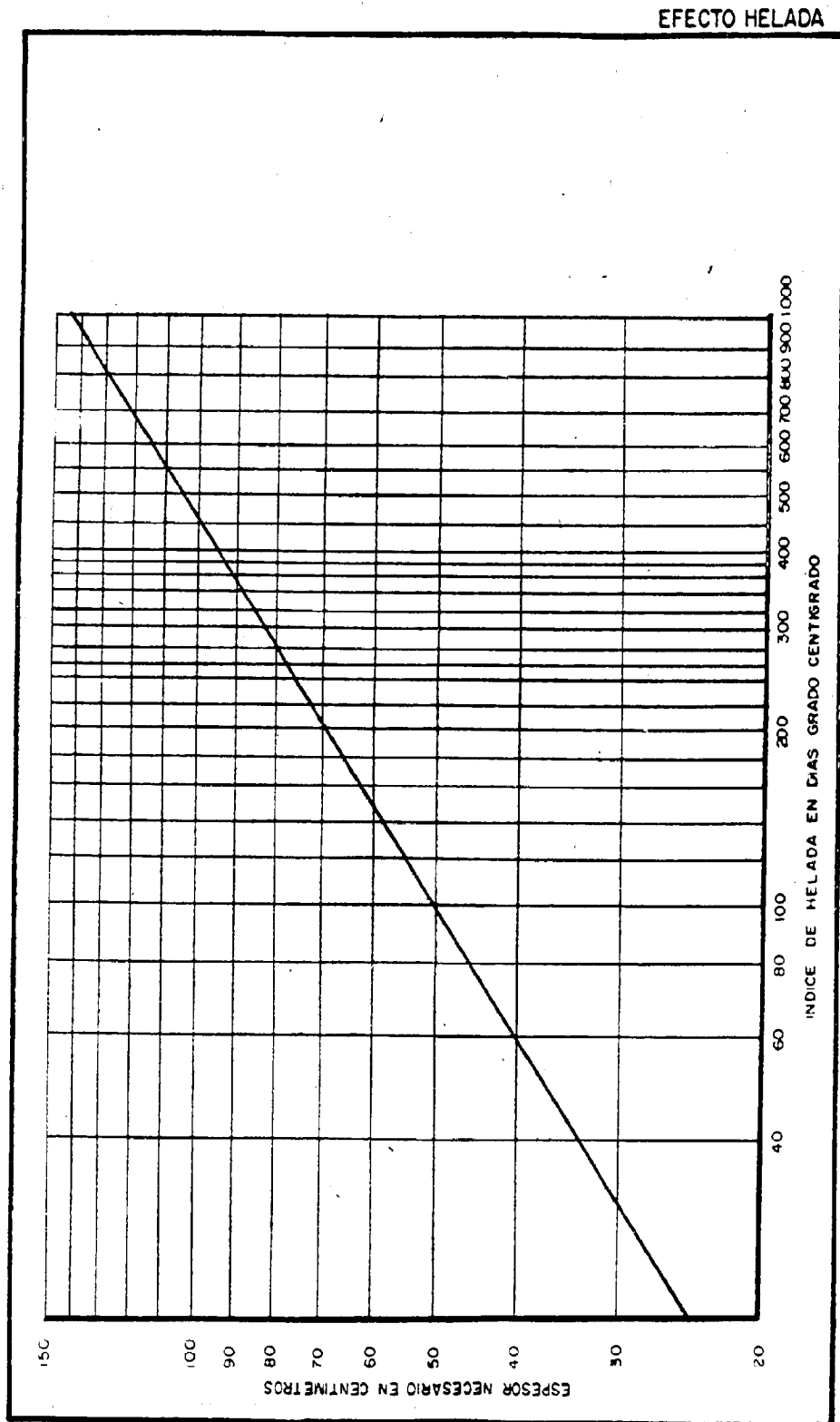


FIGURA 711

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

DETERMINACION DEL INDICE DE HELADA

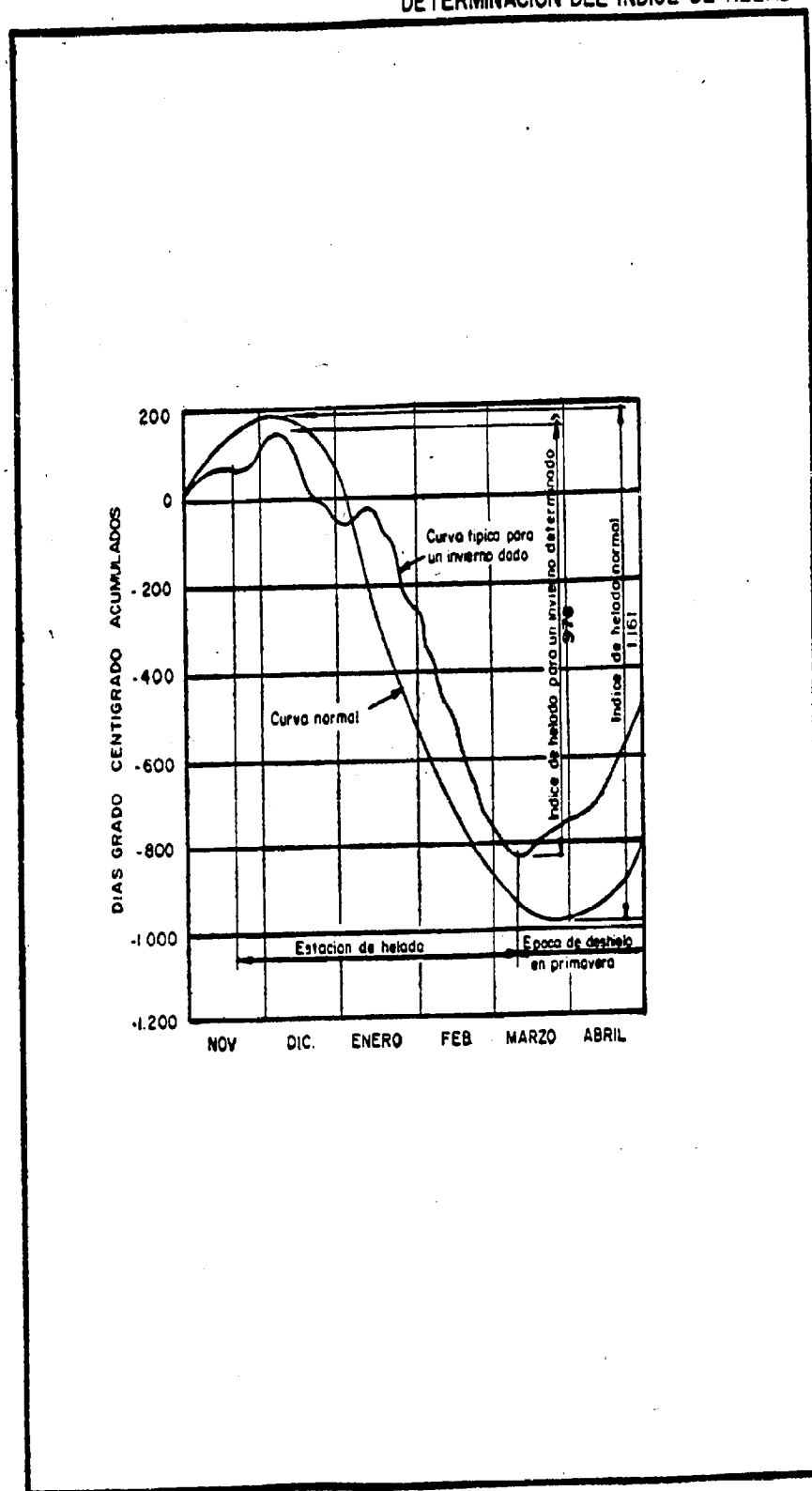


FIGURA 7.1.2

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

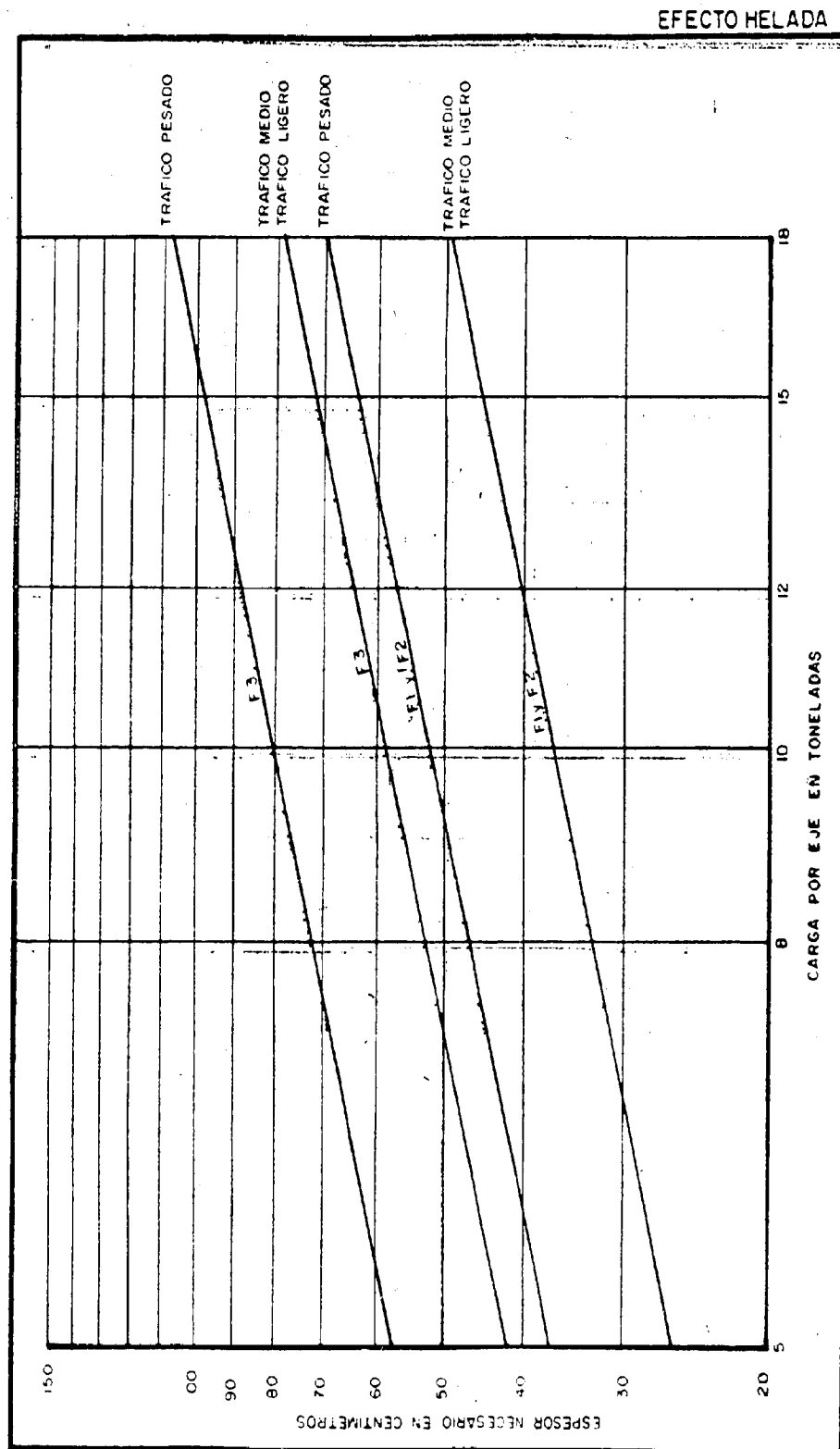


FIGURA 7 2

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO IL

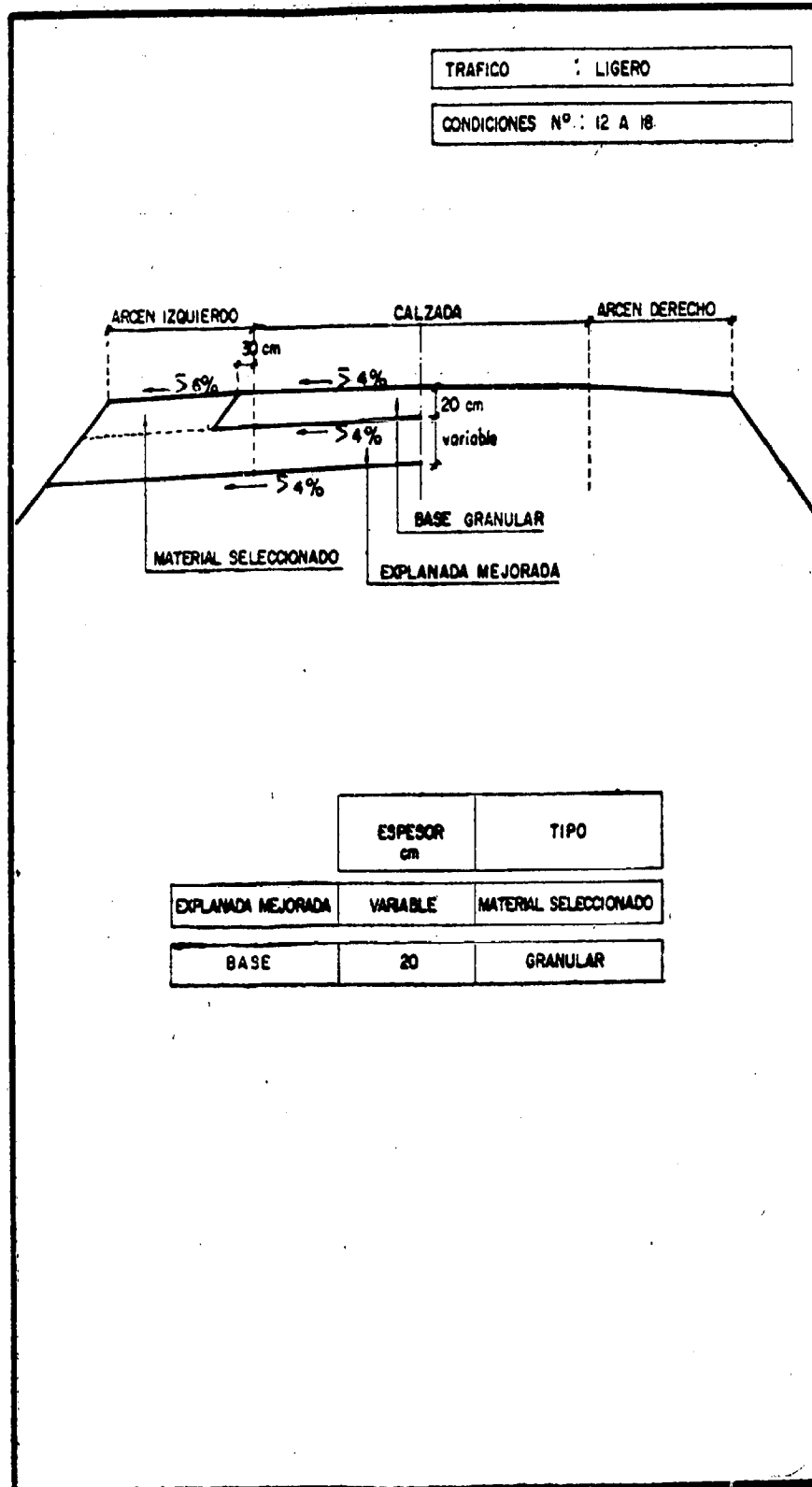


FIGURA 10.1.1

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO 2L

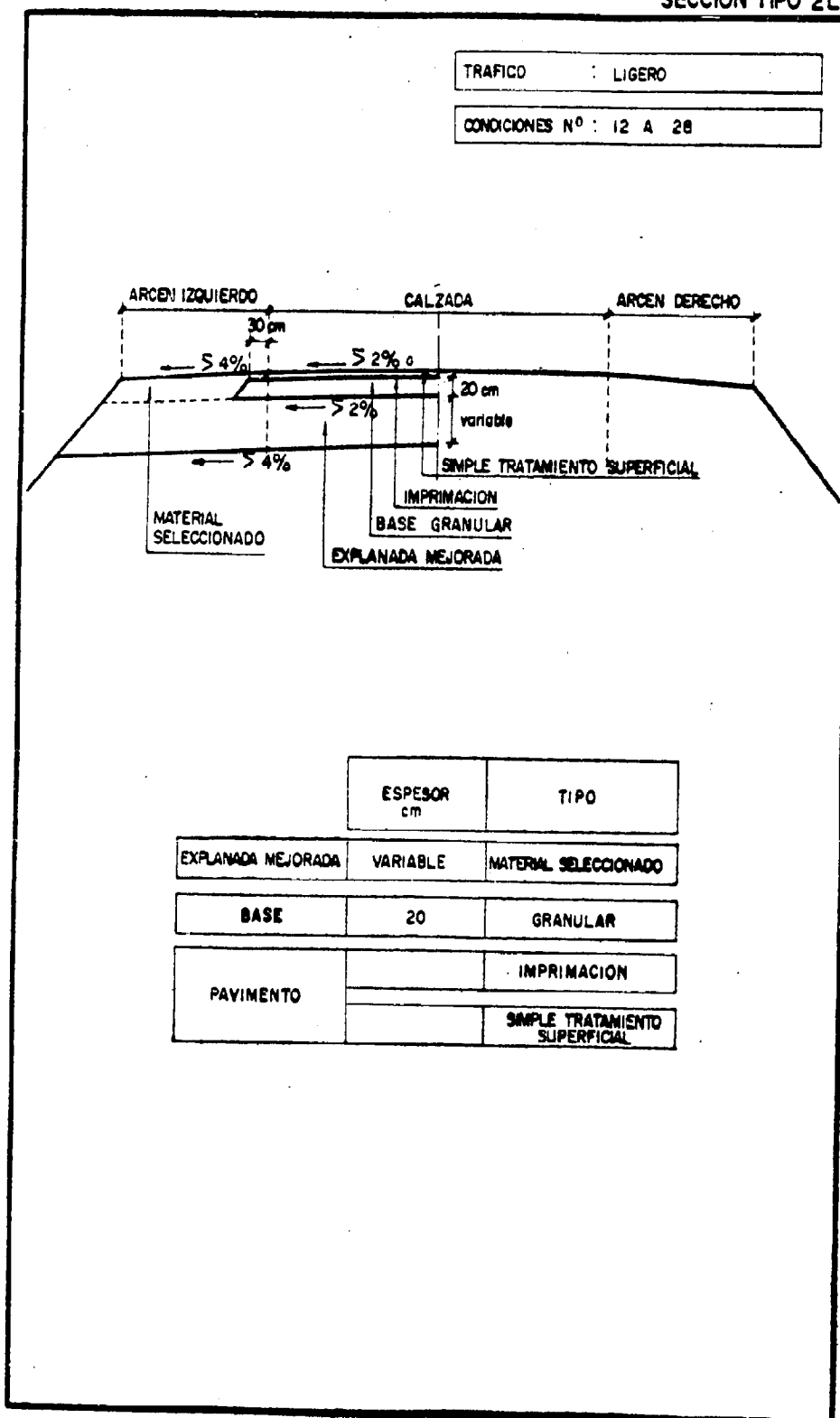


FIGURA 10.1.2

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO 3L

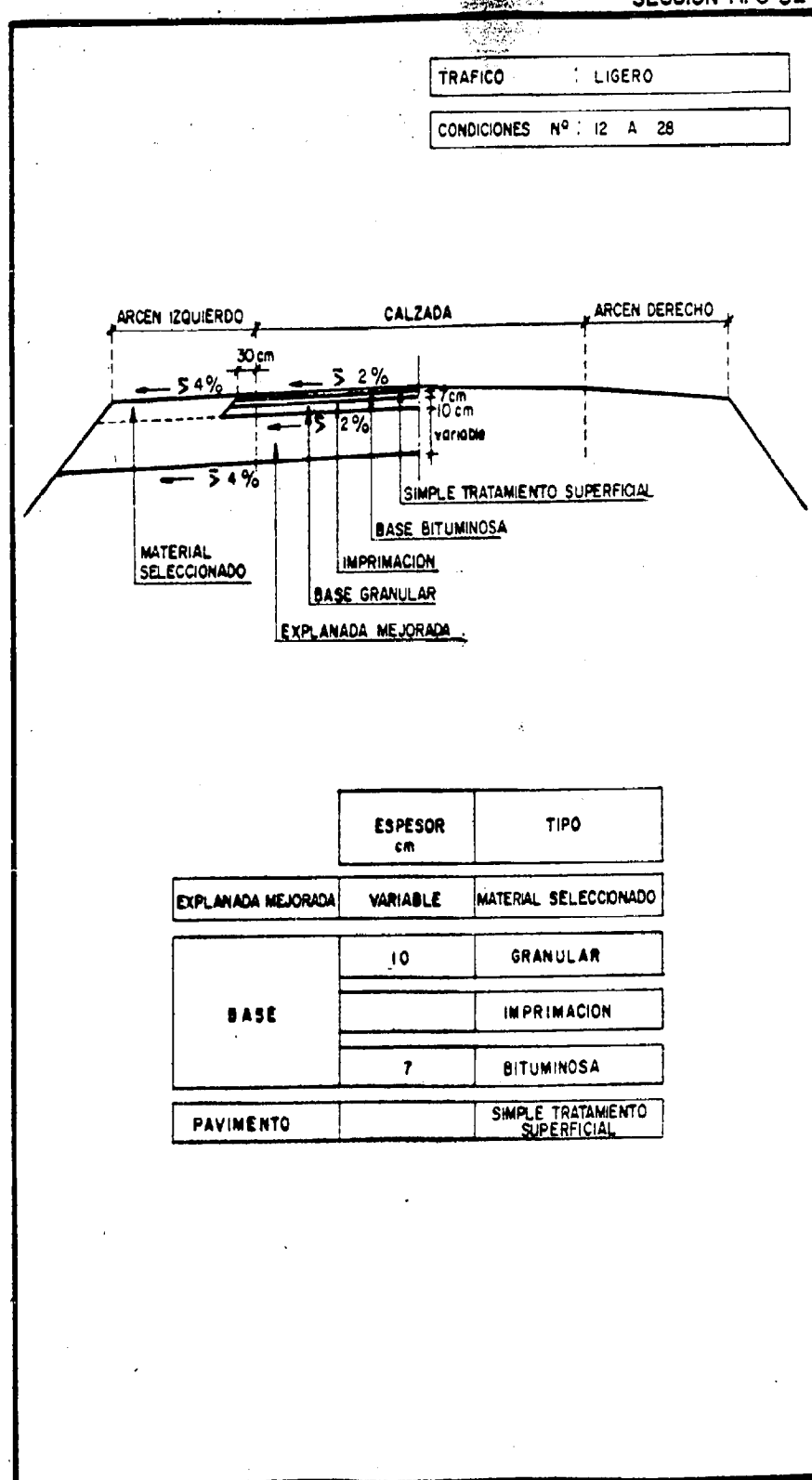


FIGURA 10.13

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO IM

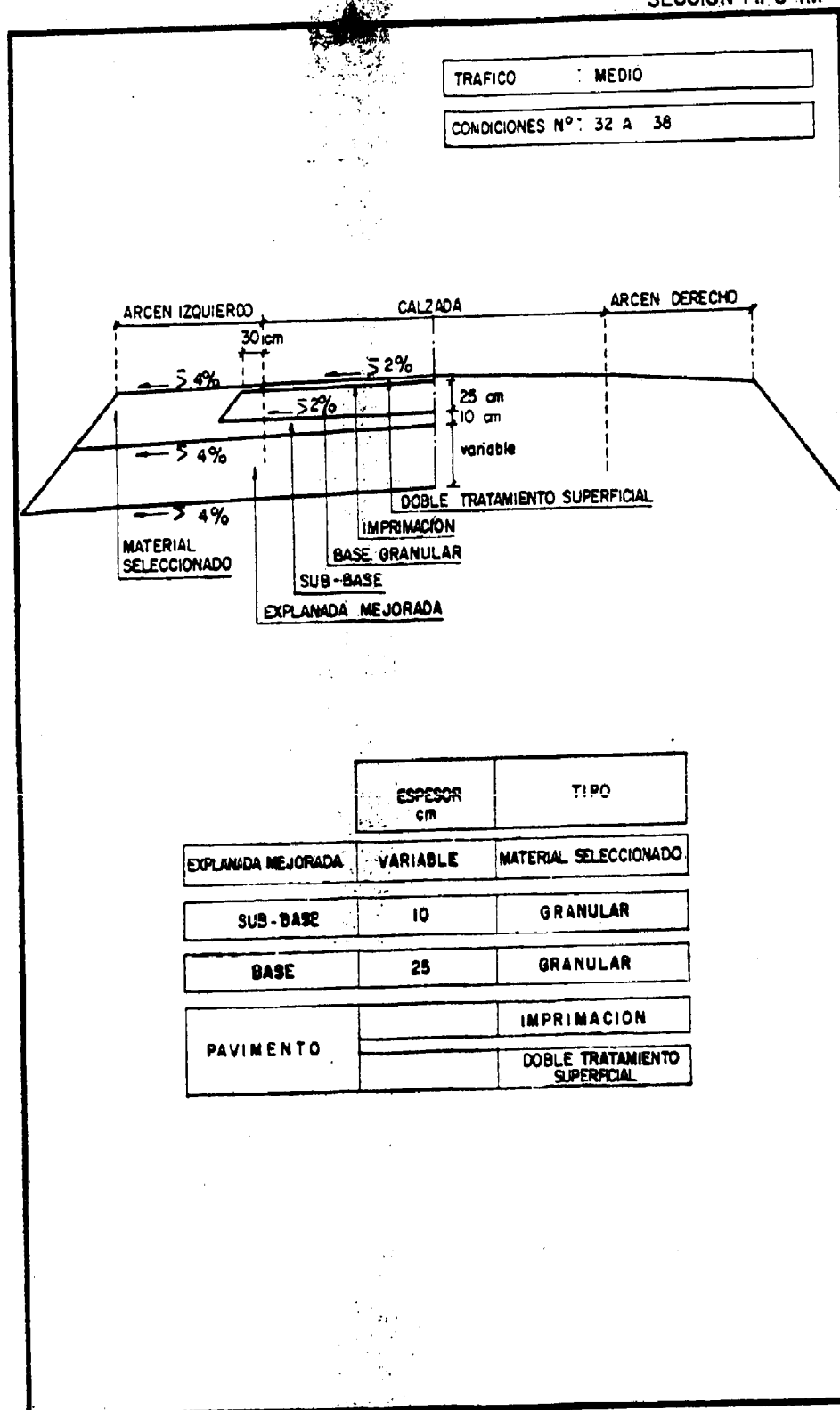


FIGURA 10.2.1

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO 2 M

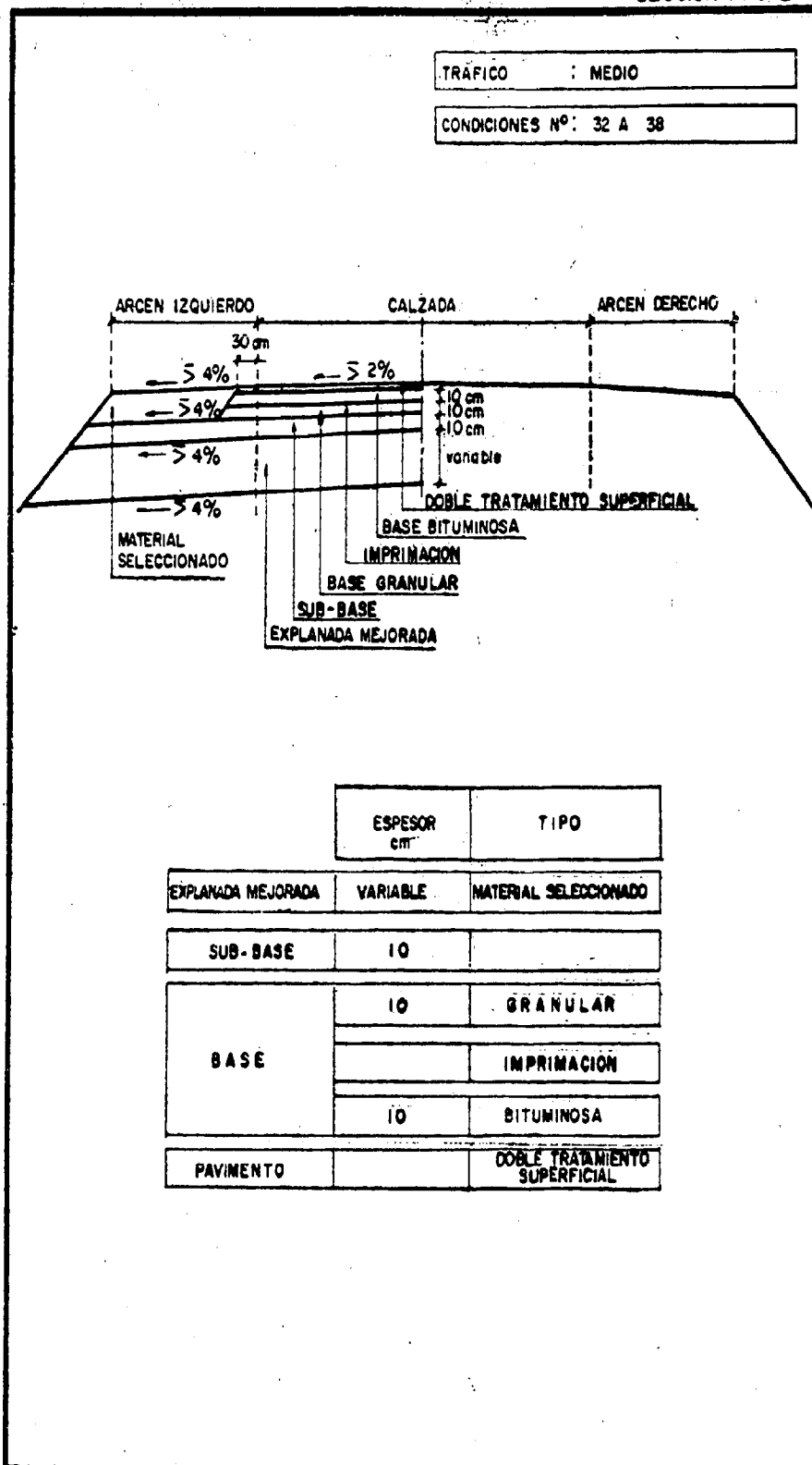


FIGURA 10.2.2

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO 3M

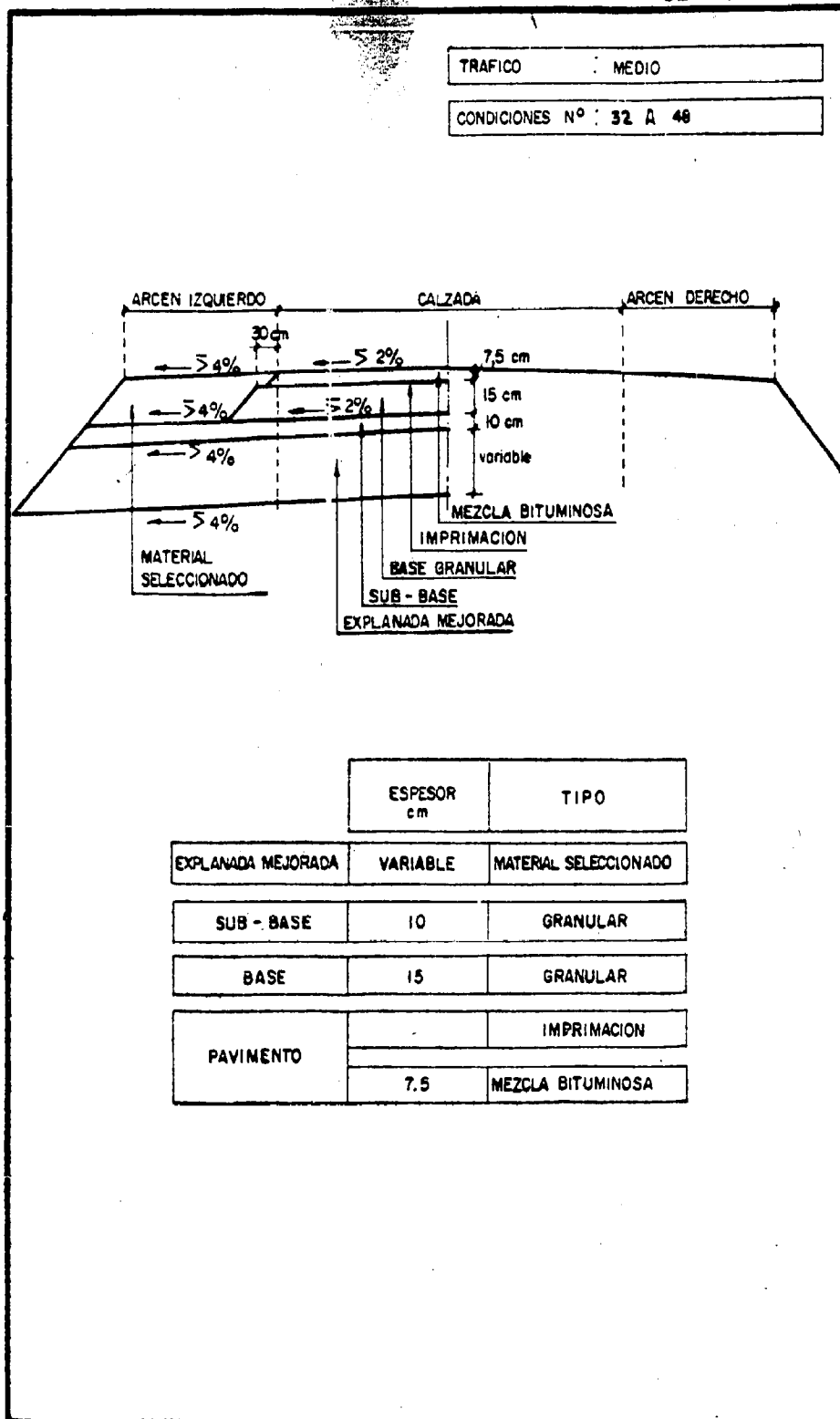


FIGURA 10.2.3

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO 4M

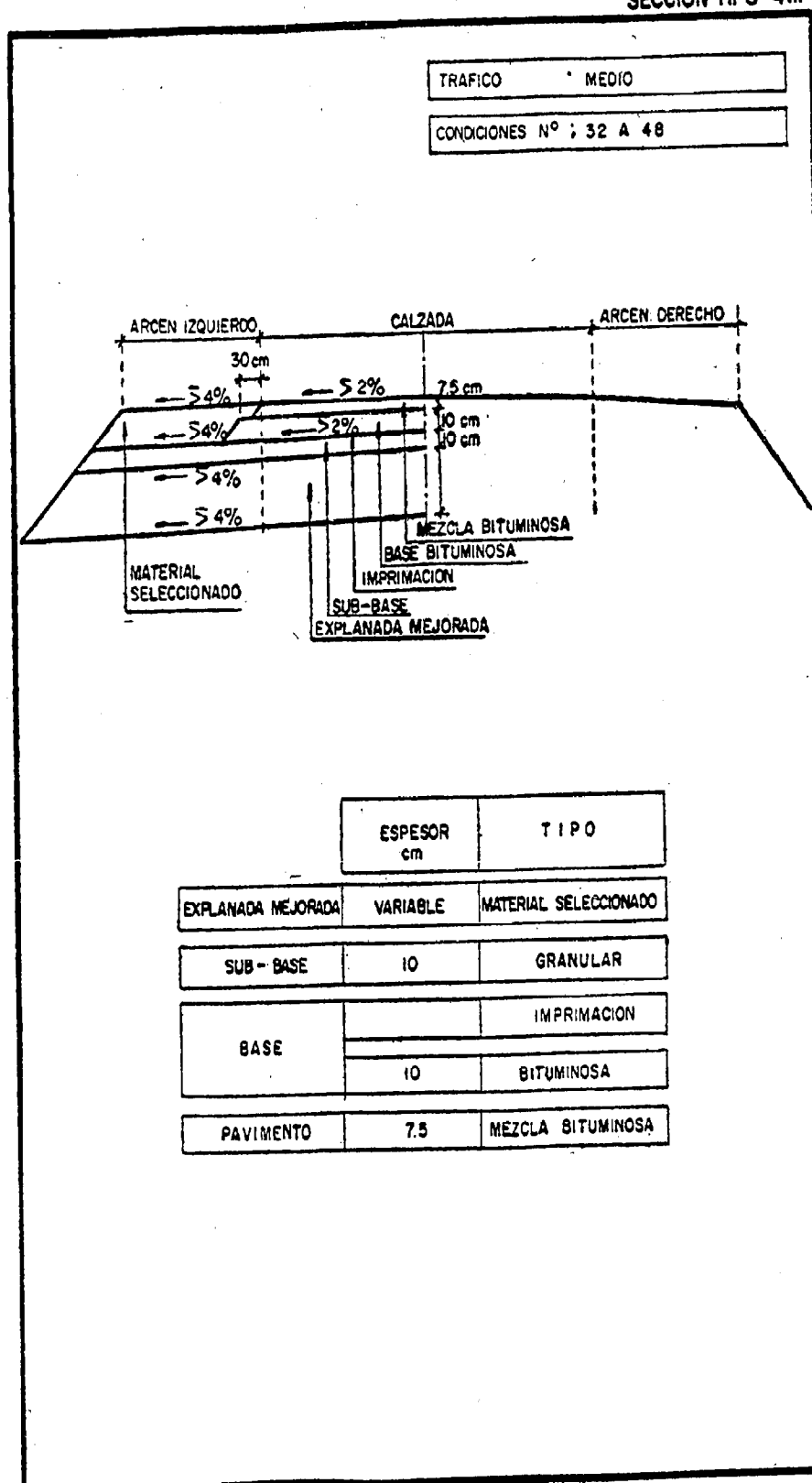


FIGURA 10.2.4

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO 1P

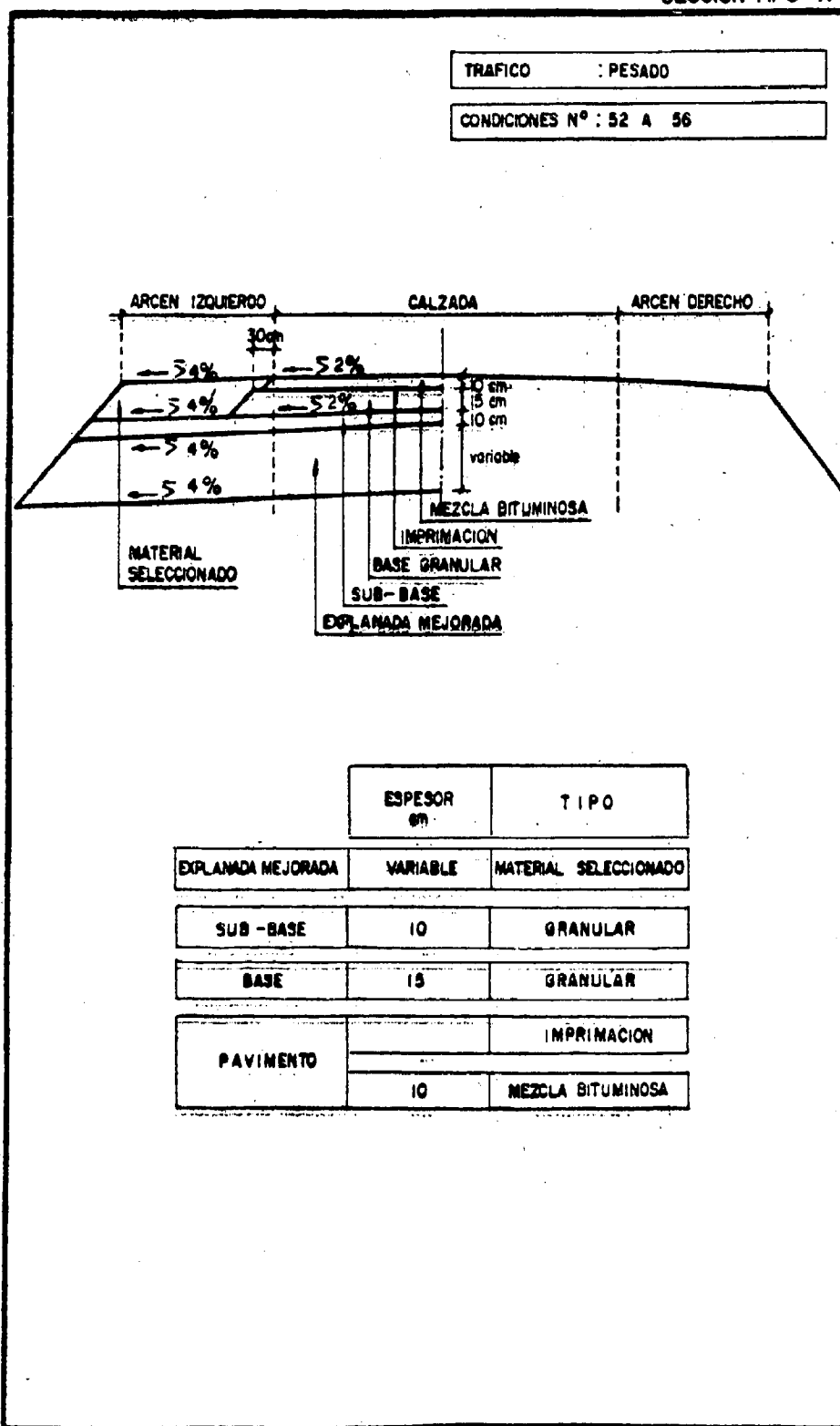


FIGURA 10.3.1.

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO 2P

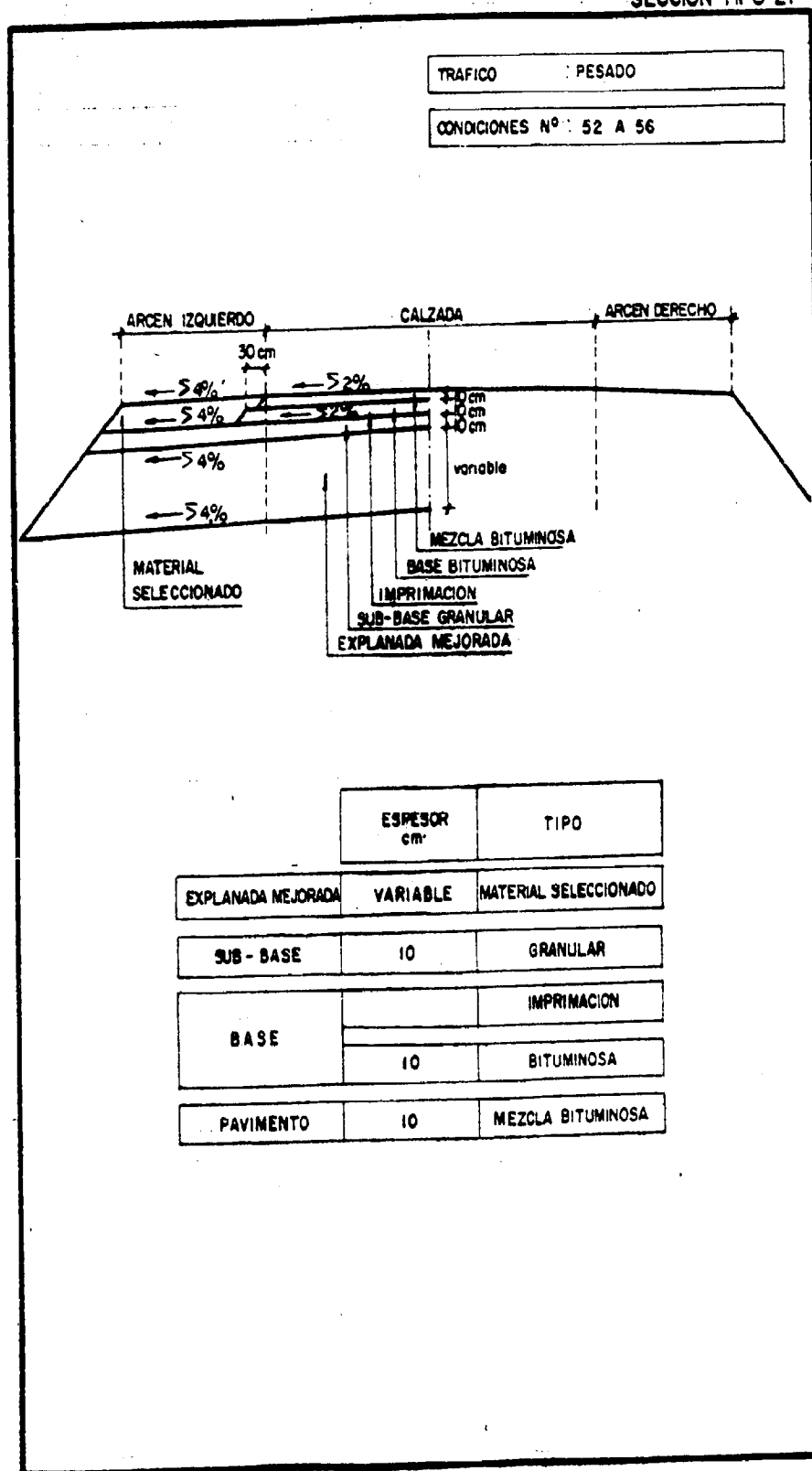


FIGURA 10.3.2

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO 3P

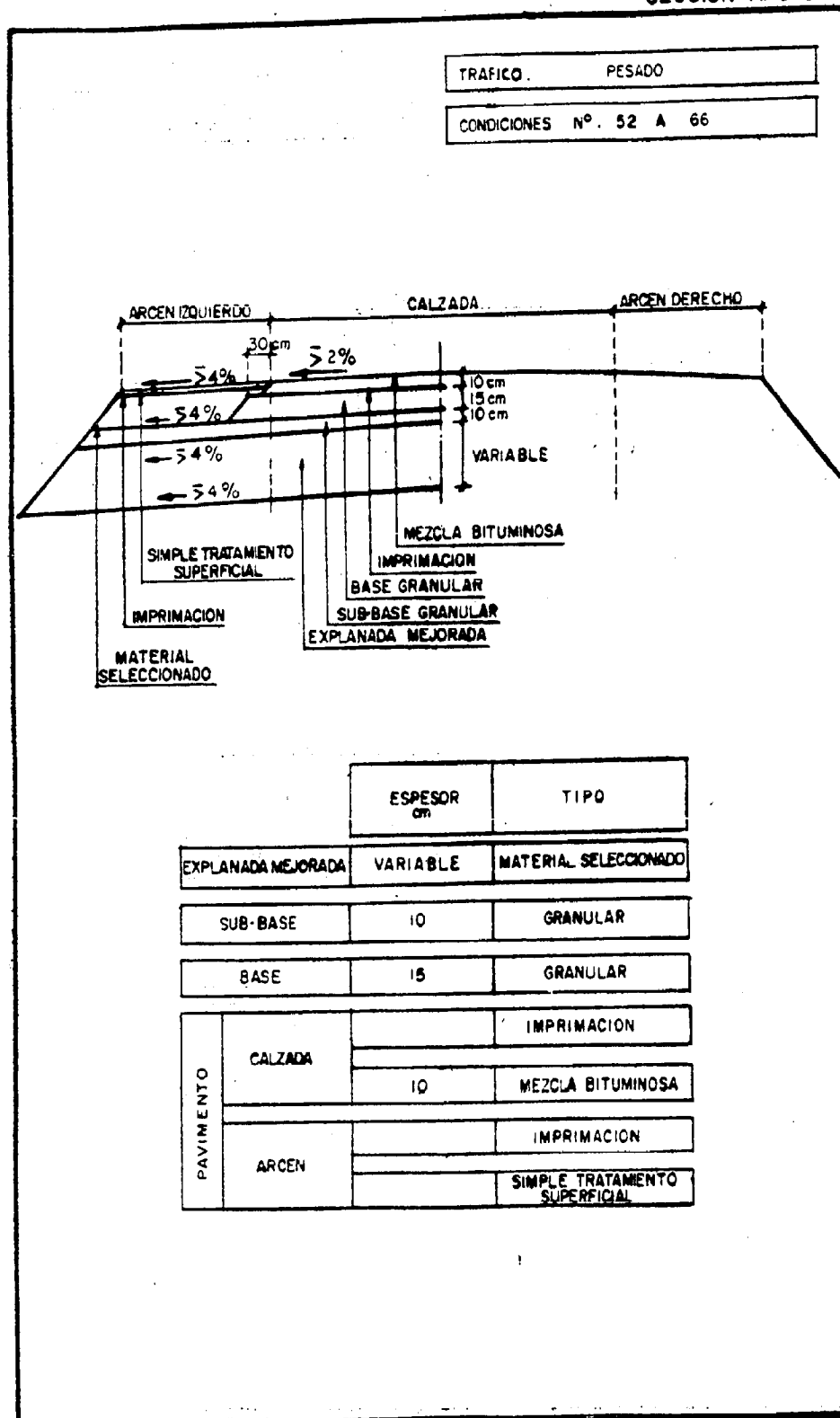


FIGURA 10.3.3

CALCULO DE ESPESORES DE FIRMES FLEXIBLES

SECCION TIPO 4P

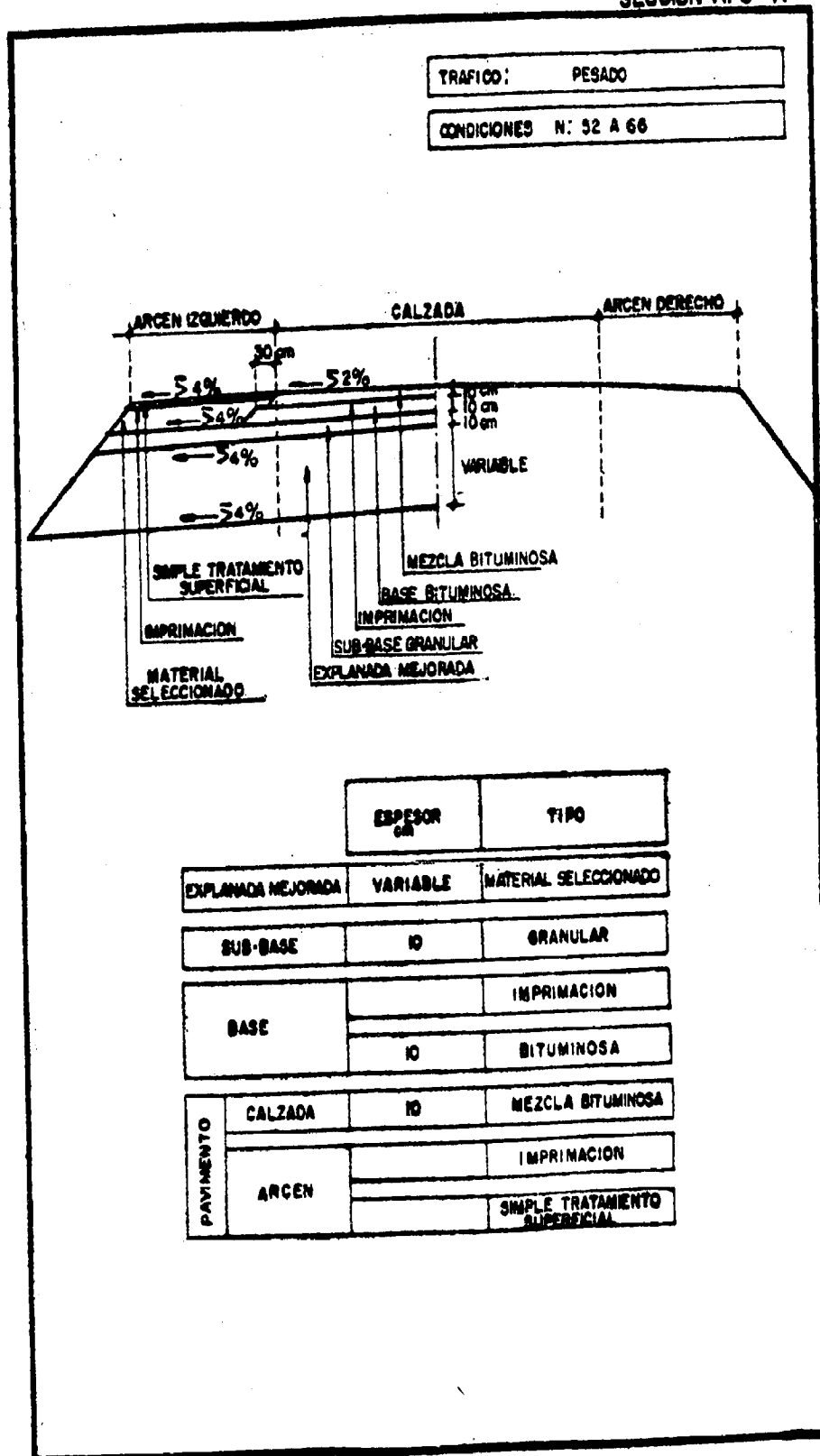


FIGURA 10.3.4