

U. N. A. M.

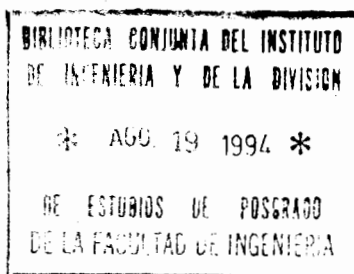
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

(DEPFI)

TRABAJO DE INVESTIGACION II

EXPERIENCIAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS EN MEXICO
SOBRE PAVIMENTOS

ALUMNO: ORTEGA PADILLA JUAN



MEXICO D.F. 1991-2

INDICE

	PAGINA
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCION	2
3. ANTECEDENTES	2
4. MATERIALES EMPLEADOS	4
5. PROCEDIMIENTOS PARA LA ELABORACION DE ESPECIMENES DE CONCRETO	
5.1. Compactador Neumatico	5
5.2. Mesa Vibratoria	6
6. PROPIEDADES DE LA MEZCLA AL SALIR DE PLANTA	6
7. CONTROL DE PESOS VOLUMETRICOS Y CONTENIDOS DE HUMEDAD	7
8. DISEÑO DE ESPESORES	8
9. ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCION	9
10. COSTO COMPARATIVO	9
11. OBRAS DE PAVIMENTACION EN MEXICO	10
12. CONCLUSIONES	11
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	13
APENDICE 1	14
APENDICE 2	17
APENDICE 3	24

1. RESUMEN

Se describen en este trabajo dos procedimientos empíricos que se han utilizado en la elaboración de especímenes en laboratorio. El Primero de ellos consiste en utilizar un compactador neumático y el segundo en emplear una mesa vibratoria. Se mencionan algunas ventajas y desventajas de los métodos mencionados.

Se incluye también, las propiedades que la mezcla debe cumplir al salir de la planta de concreto con el objeto de obtener un pavimento de alta calidad y durabilidad. Por otro lado, se presenta el método de control de pesos volumétricos y humedades del lugar mediante nuclear gauge.

Los parámetros obtenidos de los ensayos de laboratorio, se utilizaron para el diseño del espesor de la losa de concreto de un tramo de autopista nacional, para lo cual se utilizó el programa de la P.C.A. "Thickness Design of Concrete High Ways".

Se presentan también, dos alternativas para efectuar la construcción del pavimento de concreto compactado, incluyendo en la primer alternativa las especificaciones técnicas de construcción.

Se analiza de manera breve los costos directos iniciales de construcción de carreteras a base de CCR y concreto asfáltico, así como los costos de mantenimiento respectivamente.

Finalmente, se expone una reseña de los trabajos realizados en la pavimentación con CCR en México y los que se encuentran en la etapa de anteproyecto, éstos últimos contemplados en el nuevo esquema de autopistas concesionadas.

2. INTRODUCCION

El empleo del concreto compactado, como una nueva alternativa en la construcción de autopistas esta avanzando rápidamente en algunos países, debido a las bondades que esta técnica ofrece en los renglones de durabilidad y costo. Sin embargo, no hay que perder de vista que los procedimientos constructivos, materiales, mano de obra y equipos utilizados son propios de cada región y que estos juegan un papel muy importante en la evolución de cualquier tecnología.

Las actividades que se generan por el movimiento de personas y bienes de consumo en un país o fuera de este, requieren de una infraestructura vial adecuada que permita realizar un transporte cómodo y eficiente, estas vías de comunicación dependerán precisamente de las necesidades que surjan en dichos polos de desarrollo.

Por lo tanto, los estudios que se realicen en la construcción de una autopista o una carretera nueva, vista como un sistema, aplicando tecnologías de punta, son muy amplios e interdisciplinarios, basta con mencionar algunos estudios donde se requiere especial atención: selección de materiales, proporcionamiento de mezclas, ensayos de laboratorio, diseño de espesores, selección de equipo, procedimientos constructivos, control de calidad y conservación. Considerando también, desde luego los estudios previos de ingeniería de tránsito, planeación, trazado y entorno ecológico.

3. ANTECEDENTES

Las primeras aplicaciones empíricas que tuvo el concreto compactado en las vías terrestres nacen en la decada de los años 70, principalmente en la construcción de caminos rurales para volúmenes pequeños de vehículos con velocidades bajas. No cabe duda, que la escuela de esta tecnología, esta sustentada en las experiencias obtenidas en diferentes partes del mundo en la pavimentación con suelo-cemento y en el uso de las bases tratadas con cemento, B.T.C.

que datan de varios años atrás.

Durante los años 80, sigue el interés en la tecnología del concreto compactado, la investigación se profundiza más, a un punto de que los equipos que anteriormente se utilizaban, tales como: las estabilizadoras de suelo-cemento por volumen, los compactadores, entre otros, marcan un cambio revolucionario en el tren de construcción aplicado a las vías terrestres, pues su funcionamiento es más sencillo y es controlado automáticamente.

Sin embargo, algunas empresas constructoras mexicanas que han iniciado la introducción de esta técnica a finales de los años 80, se han enfrentado a un problema real, pues resulta que su actual parque de maquinaria no es del todo el ideal para afrontar la tecnología de CCR.

Es importante mencionar que debe existir una rotación adecuada del equipo, al menos, aquellos que son indispensables para poder desarrollar los cambios requeridos en el procedimiento constructivo.

Es claro, que la inversión que realicen algunas empresas en la adquisición de estos equipos podría ser elevada, debido a los altos costos del dinero que hay en la actualidad, pero existen fórmulas que permiten ejecutar estos proyectos que compiten favorablemente con otras alternativas de pavimentación.

La espiral evolutiva de la tecnología del concreto compactado aplicado a las vías terrestres se inicia en el periodo de 1970 a 1984, la construcción se efectuaba con equipos tradicionales, utilizando plantas estabilizadoras, extendedoras y rodillos compactadores independientes. En el periodo, de 1985 a 1990, estos equipos son integrados, es decir, el equipo que extiende el material es capaz de proporcionar simultáneamente compactaciones muy cercanas a las de proyecto; las nuevas generaciones de plantas de concreto hidráulico, tienen un alto grado de automatización con programas integrados, que dan al constructor la posibilidad de optimizar sus recursos.

4. MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales que se utilizan en la producción de un concreto deben cumplir las especificaciones y requisitos mínimos que estipulan las normas locales, con el objeto de obtener un producto de calidad. En general, los agregados que se emplean deben ser de la localidad y en caso contrario, serán transportados de la región económicamente factible.

Es preferible que las gravas y arenas sean producto de la explotación de canteras, pues al ser utilizadas en la estructura del pavimento, ofrecerán un mayor valor relativo de soporte. Por otro lado, los cantos rodados provenientes de fuentes fluviales, son partículas redondeadas con superficies lisas, que no permiten que haya una interacción entre cara y cara del agregado, lo cual produce un coeficiente de rozamiento interno bajo. Se descartan los agregados lajeados, pues ante los efectos de la energía de compactación su granulometría se modifica. Así como, el uso de los llamados agregados marginales debe ser cuidadoso, pues estos no llegan a cumplir en algunos casos la calidad especificada.

Se verificará el desgaste de los agregados gruesos, es decir la resistencia mecánica del esqueleto mineral, así como el pulimento que presentan dichas partículas al paso de los vehículos. También se pondrá atención al agregado fino, de tal manera que este no vaya contaminado de materia orgánica y/o finos plásticos. Algunos aspectos importantes que hay que considerar en la selección de los bancos de material, son los volúmenes de explotación, la granulometría del material y las posibles contaminaciones, pues esto puede afectar el ritmo de construcción.

Los cementos que se utilizarán en las mezclas de concreto compactable tendrán bajo calor de hidratación, mínima retracción y alta resistencia a largo plazo. el agua de mezclado será limpia y libre de impurezas.

El siguiente paso es obtener una dosificación óptima de estos ingredientes, con el propósito de obtener una mezcla homogénea y consistente. Algunos ensayos que se pueden ejecutar en estado fresco y endurecido son: peso volumétrico seco máximo utilizando un compactador neumático o una mesa vibratoria, contenido de humedad, contenido de aire, resistencia a compresión simple, tensión indirecta, flexotracción, módulo de elasticidad y módulo de poisson.

5. PROCEDIMIENTOS PARA LA ELABORACION DE ESPECIMENES DE CONCRETO

Existen dos procedimientos que se han utilizado en la confección de probetas cilíndricas o prismáticas de concreto compactado. El primero de ellos es utilizando un compactador neumático o martillo kango y el segundo es empleando una mesa vibratoria.

5.1. Compactador neumático

Al igual que en la prueba AASHTO modificada, el procedimiento consiste en proporcionar una energía específica de compactación (27.36 kg-cm/cm^3), con la diferencia de que el número de golpes es controlado por tiempo de compactación (gpm).

Los especímenes se compactan en dos capas de igual espesor, varillando cada una con 25 golpes, el propósito es regularizar el espesor de la capa a compactar.

El martillo kango es un equipo manual de compactación que se utiliza con normalidad en algunos países europeos y latinoamericanos en la confección de probetas de concreto compactado.

En la elaboración de los cilindros se toman en cuenta diferentes parámetros para encontrar la resistencia máxima. Los parámetros considerados son la relación Grava/Arena, la relación Agua/Cemento, el Peso Volumétrico, el Tamaño Máximo de Agregado y el Contenido de Aire.

5.2. Mesa vibratoria

La compactación eficiente de los materiales granulares ha sido mediante el empleo de equipos vibratorios, por tal motivo para compactar los especímenes de concreto seco se han utilizado mesas vibratorias con características conocidas, esto es, una frecuencia determinada de 60 Hz y una amplitud que varía de 0.0 a 1.6 mm.

Los cilindros se compactan en dos capas, varillando cada capa con 25 golpes para un acomodamiento previo del agregado, la parte superior del espécimen se confina con un peso de 10.6 kg y se da un tiempo de vibrado de 75 seg. por capa. Para mejorar una adherencia entre capas se puede realizar un rayado de la superficie con la varilla.

Los especímenes prismáticos, vigas de 15 x 15 x 50 cm se compactan en una sola capa en ambos procedimientos.

En el Cuadro 1, se presentan algunas ventajas y desventajas de los procedimientos descritos.

6. PROPIEDADES DE LA MEZCLA AL SALIR DE PLANTA

La mezcla de concreto después de elaborarse debe compactarse lo antes posible para evitar una pérdida de humedad. La práctica recomienda iniciar la compactación dentro de los 10 minutos posteriores al extendido y completarse antes de 45 minutos.

Una de las pruebas de laboratorio que se puede realizar al finalizar el mezclado es verificar la consistencia del concreto. El método Vebe es un procedimiento bastante razonable para verificar dicha medida. El valor de la consistencia se define como el número de segundos que se requiere para compactar un volumen de concreto en un recipiente de 24.1 cm de diámetro. En las mezclas secas se ha encontrado que el tiempo puede variar de 30 a 60 segundos.

Otras pruebas que se recomiendan realizar son la obtención del peso volumétrico, granulometrías, contenido de cemento, contenido de

humedad y aire.

7. CONTROL DE PESOS VOLUMETRICOS Y CONTENIDOS DE HUMEDAD

Durante la colocación del concreto se verificará el peso volumétrico in situ y el contenido de humedad mediante densímetros nucleares, figura 1, si se disponen de estos, en caso contrario se emplearán los métodos tradicionales como el método de la arena o el de membrana.

Los principios de operación de un medidor de densidad/humedad nuclear, están basados en la emisión de radiación de una fuente encapsulada y sellada, adecuadamente situada dentro del medidor. El material radiactivo usado para medir la densidad es el cesium 137, (10 mCi), el cual emite rayos gamma. Si el material tiene una densidad baja, una cantidad mayor de radiación gamma pasará a través y será detectada por un detector geiger-müller también situado dentro del medidor.

Para medir el contenido de humedad se utiliza una fuente radiactiva de americium 241: beryllium, la cual emite neutrones. La alta energía de los neutrones es moderada por colisión con los átomos de hidrógeno del agua del material que se esta compactando. por lo tanto, solamente la baja energía de los neutrones moderados es detectada por los detectores de humedad.

Si el material de prueba esta húmedo, el medidor indicará una respuesta alta, si es muy seco, el medidor indicará lo contrario durante el mismo periodo de tiempo.

La operación de estos equipos puede funcionar de dos maneras: transmisión directa o transmisión indirecta.

El primer método, directo, consiste en realizar una perforación a 20 o 30 cm de profundidad en el terreno donde se verificará la densidad, posteriormente se introduce la varilla que contiene la

fuelle sellada para realizar las mediciones. El segundo método, indirecto, consiste en realizar las mediciones de la densidad colocando el medidor sobre la superficie sin realizar la perforación del terreno.

Una de las ventajas que ofrece el equipo es la información básica que se obtiene en un lapso de 1 a 4 minutos como máximo, por lo que el ingeniero dispone de una manera eficiente de la información en la obra. Los datos que se presentan en la pantalla del equipo son el peso volumétrico compacto del lugar seco y húmedo, contenido de humedad y porcentaje de vacíos. Se tiene la opción de imprimir dicha información mediante un dispositivo de salida.

El tiempo de prueba permite realizar varias lecturas acorde a la velocidad del procedimiento constructivo, estableciéndose un aseguramiento del control de calidad. Además, se puede realizar una retroalimentación de información inmediata, en caso de presentarse alguna variación en el proporcionamiento de las mezclas o en las compactaciones obtenidas en el lugar de la obra.

Es muy importante mencionar que el cálculo de los pesos volumétricos debe ser inmediato, de lo contrario el concreto adquiere su resistencia inicial en las primeras horas no permitiendo corregir alguna deficiencia que se haya presentado en la dosificación o en la compactación.

8. DISEÑO DE ESPESORES

En el Apéndice 1, se presenta el diseño de espesor de pavimento así como la sección de la estructura. El diseño se realizó con el programa de la P.C.A. "Thickness Design of Concrete High Ways" (Método de Fatiga).

9. ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCION

El procedimiento constructivo que se ha seguido en México consiste en establecer un ciclo utilizando el siguiente tren de maquinaria.

1. Mezcladoras de tipo turbina o de paletas que puedan proporcionar un mezclado enérgico, $V = 50 \text{ m}^3/\text{hr}$.
2. Transporte de la mezcla en camiones volteo de 6 m^3 de capacidad.
3. Extendido del material mediante pavimentadoras con anchos mayores a 3 m.
4. Compactación con rodillos lisos metálicos vibratorios autopropulsados de 10 Ton.
5. Compactadores de neumáticos de 7 Ton.
6. Pipas para efectuar el curado del concreto.
7. Motoconformadora para realizar las juntas longitudinales.
8. Equipo menor (compactadores manuales, rastrillos, etc.).

En el Apéndice 2, se muestra la Especificación Complementaria Constructiva de Pavimento de Concreto Compactado con Rodillos, siguiendo el proceso mencionado.

El segundo procedimiento consiste en reemplazar el punto 3 y 4 del sistema tradicional e incorporar un equipo que extiende el material y que lo compacta simultáneamente, esto se logra con un sistema de doble tamping al cual se le puede ajustar la frecuencia y la amplitud dependiendo de las características de la mezcla. Una de las ventajas de este equipo es que logra compactaciones muy cercanas a las de proyecto, además de obtener una lisura (depresiones mínimas) en la superficie del pavimento. Estos equipos están por utilizarse próximamente en México.

10. COSTO COMPARATIVO

Dependiendo de las características del terreno, los espesores de pavimento rígido son menores que los de un pavimento flexible hasta en un 20% para las mismas condiciones de tránsito, vida útil y climatología.

La reducción del paquete estructural se debe a que la losa de concreto compactado resiste un número mayor de aplicaciones de carga antes de llegar a la fatiga, estas cargas son transmitidas por el tráfico pesado.

En forma general, los costos iniciales de construcción para una autopista típica utilizando concreto compactado son muy similares a los de una estructura flexible. Además, tendrán que tomarse en cuenta que los costos por mantenimiento y los costos de operación son menores en la alternativa de pavimento rígido.

En el Apéndice 3, se presenta una dosificación típica de CCR así como el análisis de costo comparativo de dos alternativas de pavimentación, finalmente se anexa una gráfica de costo de mantenimiento de pavimentos de CCR y asfalto, figura 12.

11. OBRAS DE PAVIMENTACION EN MEXICO

Se mencionan a continuación algunas obras de pavimentación que se han construido por diferentes organismos y empresas, utilizando la técnica de concreto compactado con rodillos.

1. Tramo Experimental en la Autopista México-Cuernavaca, Km 23.

Este pavimento fue construido en Julio de 1988 para el acceso de tránsito pesado, el área aproximada fue de 90 m^2 y espesor de 15 cm, figura 2. Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, COCONAL e IMCYC.

2. Tramo Experimental en una Planta de Concreto Premezclado en Cd. Juárez, Chih.

El pavimento se construyó en Diciembre de 1988 para dar acceso a los camiones mezcladores a la planta, el área fue de 158 m^2 y espesor de 17 cm, figura 3. Cementos Chihuahua, S.A.

3. Calle Urbana y un Patio Comercial en Temixco, Mor.

La calle que se construyó tiene un área de 300 m^2 y espesor de 20 cm. El patio tiene un área de $13,000 \text{ m}^2$ y espesor de 20 cm, figura 4 y 5. Concreto de Morelos, S.A.

4. Caminos de Acceso a la Terminal de Usos Múltiples del Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Los caminos de acceso se construyeron en Marzo de 1991. El área aproximada fue de 11,600 m² y espesor de 28 cm en 2 capas, figura 6. Puertos Mexicanos, S.C.T., Estructuras y Proyectos S.A. de C.V. e IMCYC.

Actualmente, se está desarrollando un proyecto de pavimento de 500 m de longitud por 6.50 m de ancho en el cuerpo B, carril de ascenso, km 73+100 de la Autopista México-Cuernavaca, figura 7.

Existe interés por parte de algunos contratistas que se han adjudicado obras carreteras bajo el nuevo esquema de concesión de obras, en analizar las ventajas y aplicar los procedimientos que ofrece esta nueva alternativa de pavimentación.

12. CONCLUSIONES

1.- Se tienen ventajas y desventajas tanto en el compactador neumático como en la mesa vibratoria.

Compactador Neumático:

- | | | |
|---|---|-------------|
| - Rapidez de prueba | } | Ventajas |
| - Disponibilidad del equipo en obra | | |
| - Si los agregados son suaves se puede presentar trituración parcial (2-8%) | } | Desventajas |
| | | |

Mesa Vibratoria

- | | | |
|------------------------------|---|----------|
| - No tritura el material | } | Ventajas |
| - Mejor acomodo del material | | |

- Compactación por vibrocompactación inferior
 - El sobrepeso no es proporcional al peso del equipo de campo
- } Desventajas

- 2.- Se recomienda iniciar la compactación del concreto dentro de los 10 minutos posteriores al extendido y completarse antes de 45 minutos.
- 3.- Se requiere verificar la consistencia del concreto al terminar el mezclado con el aparato Vebe para estimar el tiempo de vibrocompactación de éste sobre la mesa vibratoria.
- 4.- Las ventajas que se tienen en la determinación de los pesos volumétricos y humedades con el densímetro nuclear sobre los métodos tradicionales son los siguientes:
 - a) Se obtienen los resultados en un lapso de 1 a 4 minutos después del tendido del concreto comparados con los métodos tradicionales que se tardan en obtener aproximadamente 45 minutos.
 - b) El tiempo de prueba permite realizar varias lecturas acorde a la velocidad del procedimiento constructivo, teniendo un mejor control de calidad.
 - c) Permite retroalimentar la información inmediata en caso de presentarse alguna variación en el proporcionamiento de las mezclas.
- 5.- Como no se cuenta con maquinaria especial en México todavía se tiene que utilizar la convencional para la realización del CCR.
- 6.- Los costos de un pavimento rígido (CCR) comparados con un flexible son similares (uno a uno aproximadamente).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Nieto Ramírez Jose Antonio y Figueroa Gallo Donato, "Pavimentos de Concreto Rolado, una nueva Alternativa en la Construcción de Autopistas", Construction and Mining Machinery, Abril-Mayo 1991, Año 4, Vol. 2, págs. 29-33. Miami, Fl., U.S.A.
2. Figueroa Gallo Donato, "Concretos de CCR la Mejor Solución", Construcción y Tecnología, Octubre 1989, Vol. 2, No. 17, págs. 7-16. México, D.F.
3. Figueroa Gallo Donato, "El Concreto Compactado con Rodillos en la obras de Infraestructura. Nuevas Aplicaciones del Concreto Hidráulico en México", Boletín ICPC, Julio-Septiembre 1989, No. 46, págs. 27-32. Bogotá, Colombia.
4. Figueroa Gallo Donato, "Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillos (CCR)", Construcción y Tecnología, Octubre 1988, Vol. 1, No. 5, págs. 17-29. México, D.F.
5. Figueroa Gallo Donato, "El Concreto Compactado con Rodillos (CCR) y su Control de Calidad", Revista Mexicana de la Construcción, CNIC, Enero 1988, No, 398. México, D.F.

APENDICE 1

DATOS PARA DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTO CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

1. $K = 270 \text{ PCI} = 7.5 \text{ KG/CM}^3$

$\text{VRS} = 30\% \text{ MINIMO} \implies K_c = 250 \text{ PCI}$

$e = 4" \text{ GRANULAR} \therefore K_c = 270 \text{ PCI}$

2. $\text{MR} = 500 \text{ PSI (28 DIAS)} = 35 \text{ KG/CM}^2$

3. $\text{ADTT} = 2782 \text{ VEHICULOS}$ * (JUNIO 1991, CPFISC)

TIPO B+C CARR. DIS. F.P.

$\text{TDPA}_D = 18400 \times 0.12 \times 0.70 \times 1.8 = 2782 \text{ VEHIC}, 3500 \text{ VEHIC}$

$\text{F.P.} = 1.8, 2.26$

4. $\text{D.L.} = 20 \text{ AÑOS}$

5. SE CONSIDERO UN INTERLOCK DE LOS AGREGADOS EN LAS JUNTAS PARA EL PAVIMENTO DE CCR

6. SE CONSIDERO QUE EL PAVIMENTO TIENE COMO ACOTAMIENTO LA MISMA SECCION DE CONCRETO.

7. SE TOMO EN CUENTA UN F.S. = 1.2, POR TRATARSE DE UNA ARTERIA IMPORTANTE.

8. SE CONSIDERO UNA CARPETA ASFALTICA DE 7 CM DE ESPESOR PARA LOGRAR UNA LISURA EN EL PAVIMENTO.

9. SE TIENEN 3 CARRILES POR SENTIDO

* THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE HIGHWAY AND STREET PAVEMENTS, FIG. 3, PAG. 9.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE	30%
VIDA UTIL	15 AÑOS, 20 AÑOS
TASA CRECIMIENTO	6.1%, 8.5%
TDPA	18,400 VEHICULOS
	A = 88.3%
	B = 6.5
	C = 5.2
	} 11.7%

CLASIFICACION VEHICULAR

		%	
A		88.30	
B	2 EJES	5.90	} → 6.5%
	3 EJES	0.60	
C	2 EJES	3.40	} → 5.2%
	3 EJES	1.04	
	4 EJES	0.04	
	5 EJES	0.40	
	6 EJES	0.30	
	7 EJES	0.01	
	8 EJES	0.001	

<u>VEHICULO</u>	<u>%</u>	<u>No. DE VEHIC</u>
A	88.0	16,192
B-3	6.5	1,196
C-3	5.5	1,012
	100.0	18,400

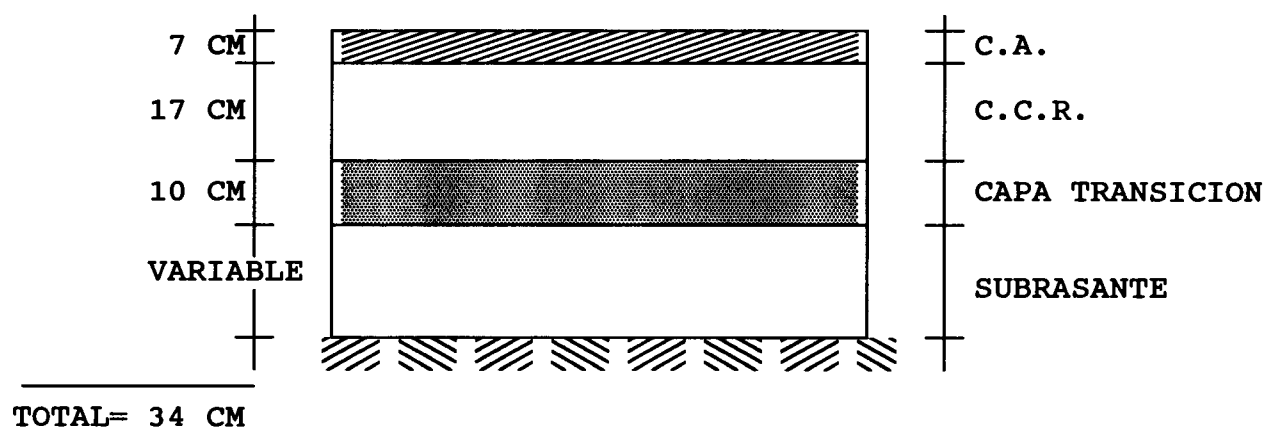
<u>VEHICULO</u>	<u>%</u>	<u>No. DE VEHIC</u>
B-3	54	1,196
C-3	46	1,016
	100	2,208

		<u>B-3</u>	<u>C-3</u>	<u>TOTAL</u>	<u>EJES/1000</u>
SENC. 12,000	5.5	1,192	1,016	2,208	120
TAND. 31,000	14.0	1,192	-	1,192	65
TAND. 40,000	18.0	-	1,016	1,016	55

$$\frac{2,208}{18,400} \times 1000 = 120$$

A continuación se presenta la sección de pavimento rígido.

SECCION RIGIDA



APENDICE 2

ESPECIFICACION COMPLEMENTARIA CONSTRUCTIVA PAVIMENTO DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS C.C.R.

TRAMO: 73+100 AL 73+600

CUERPO: B

CARRIL: ASCENSO

AUTOPISTA: MEXICO—CUERNAVACA

CONTENIDO

1. SUBRASANTE
2. CAPA DE TRANSICION
3. CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
 - 4.1 EQUIPO DE MEZCLADO
 - 4.2 TRANSPORTE DE LA MEZCLA DE LA PLANTA A LA OBRA
 - 4.3 EXTENDIDO DEL MATERIAL
 - 4.4 COMPACTACION DE LA MEZCLA
 - 4.5 JUNTAS LONGITUDINALES FRESCAS
 - 4.6 JUNTAS TRANSVERSALES FRIAS O DE CONSTRUCCION
 - 4.7 CURADO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
5. RIEGO DE LIGA Y CARPETA ASFALTICA

CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

La estructura del pavimento de CCR está constituida por los siguientes espesores, ver figura 8.

1. SUBRASANTE

El espesor de esta capa será el mismo que se tiene contemplado en el pavimento flexible, pero no menor a 30 cm.

ESPECIFICACIONES

T.M.A.	75mm
% < Malla No. 200	35 MAX.
L.L.	40% MAX.
I.P.	20% MAX.
AASTHO ESTANDAR	98%
V.R.S.	30% MIN.

Para dar por terminada la construcción de esta capa, incluido el afine se comprobará:

A) Nivel de la superficie	± 3 cm
B) Ancho de corona al nivel de subrasante, de la línea de centro a orilla	+ 10 cm

2. CAPA DE TRANSICION

Cuando se encuentre lista la capa de subrasante y compactada de acuerdo al inciso anterior, se procederá al tendido de la capa de transición de un espesor de 10 cm. Esta capa tendrá la función de servir de transición entre la capa subrasante y la losa de concreto compactado con rodillos.

El material que constituye la capa de transición es granular (grava-arena) los cuales serán debidamente mezclados en el lugar en una relación 60/40.

ESPECIFICACIONES

T.M.A.	75mm
% < Malla No. 200	15 MAX.
ZONA GRANULOMETRICA	2
L.L.	30% MAX.
I.P.	6% MAX.
E.A.	50% MIN.
AASTHO MODIFICADA	100% MIN.
V.R.S.	100% MIN.
DESGASTE DE LOS ANGELES	40% MAX.

Para dar por terminada la construcción de esta capa, se verificara:

- | | |
|--|-----------|
| A) Ancho de la sección, del eje a la orilla | + 10 cm |
| B) Nivel de la Superficie | ± 1 cm |
| C) Pendiente transversal | ± 0.5 % |
| D) Profundidad de las depresiones, observadas
colocando una regla de 3 metros de longi--
tud, paralela y normal al eje | 1 cm MAX. |



3. CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

El concreto compactado con rodillos consiste en una mezcla de agregados triturados, cemento portland y agua debidamente dosificados por peso, cuyo revenimiento es cero.

El espesor mínimo de la capa mencionada será de 17 cm de espesor compacto. La grava (basalto vesicular) que se utilizará en la fabricación del concreto tendrá un T.M.A. de 3/4" y la arena que se empleará será de tipo andesítico.

Es importante mencionar que la grava tendrá que estar en condicion saturada y superficialmente seca, S.S.S.

El módulo de ruptura del concreto obtenido de vigas de 15 x 15 x 50 cm, será de 35 Kg/cm² a 28 días. El diseño de la mezcla de concreto tendrá una relación A/C de 0.40.

El cemento que se utilizará en la fabricación del concreto será C-2 Puzolánico.

ESPECIFICACIONES

M.R.	35 Kg/cm ²
T.M.A.	75mm
G/A	0.82
A/C	0.40
DESGASTE DE LOS ANGELES	40% MAX.

El concreto a elaborar tendrá la siguiente dosificación por peso.

Cemento	330 kg/m ³
Grava	692 kg/m ³
Arena	844 kg/m ³
Agua	132 kg/m ³
Peso volumétrico de concreto fresco	2000 kg/m ³

4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

4.1 Equipo de mezclado

El equipo para elaborar la mezcla de concreto compactable debe cumplir diseños y características específicas, pues el producto final será una mezcla homogénea, donde todos los ingredientes, grava, arena, cemento, agua y aditivos si se emplean, han sido incorporados de acuerdo a la dosificación especificada. El mezclado se proporciona generalmente por dos ejes longitudinales horizontales que giran en forma intermitente o continua.

También, se podrá utilizar mezcladoras de eje vertical, fijas o móviles.

4.2 Transporte de la Mezcla de la Planta a la Obra

El transporte de la mezcla se realizará en camiones de volteo de 6-7 m³ de capacidad. La carga se iniciará precisamente en la tolva receptora de la planta de mezclado, procurando que la caída de la mezcla no sea muy alta para evitar problemas de segregación.

La caja de los camiones se mantendrá húmeda antes de recibir la mezcla y durante el transporte se cubrirá con lonas o plásticos para evitar una desecación de la mezcla.

En caso de lluvia se recomienda detener las actividades.

El recorrido de planta-obra, será corto con radios de 10 km o de 15 minutos. En caso contrario, se recomendará utilizar un aditivo retardante.

El número de camiones a utilizar será función directa de los ciclos de producción y colocación de la mezcla.

4.3 Extendido de la Mezcla de Concreto

Antes de iniciar el tendido de la mezcla de concreto, se dará un riego ligero con agua a la capa de transición, con el objeto de que esta no absorba parte de la humedad del concreto.

El extendido de la mezcla se realizará con una pavimentadora (finisher) que pueda proporcionar las siguientes características geométricas:

ANCHO	3.25 m
ESPESOR	17 cm Compacto

Para lograr 17 cm compactos, se sugiere extender el material en un espesor de 20 cm.

4.4 Compactación de la Mezcla

La mezcla de concreto se compactará con un rodillo metálico autopropulsado liso vibratorio de 10 ton. de peso. El rodillo deberá tener una frecuencia de vibración de 1500 ciclos/min. y una amplitud de 0.35 a 1 mm, con velocidades de compactación de 2.5 km/hr.

El proceso de compactación se iniciará en la fase estática, con el objetivo de armar al material. El número de pasadas será dos. Entendiendo por pasada del equipo el ciclo de ida y vuelta.

Posteriormente, se darán de 3 a 5 cerradas en la fase vibratoria para alcanzar el peso volumétrico compacto de proyecto.

Finalmente, la superficie del pavimento debe recibir por lo menos dos cerradas completas con un compactador de neumáticos para sellar la superficie. La presión de los neumáticos debe estar comprendida en un rango de 3.5 a 6.3 kg/cm², con una carga por cada llanta de 1.5 a 2.0 ton/llanta. El número mínimo de llantas será de 6.

4.5 Juntas Longitudinales Frescas

La longitud de carril con ancho de 3.25 m será de 50 m lineales. La compactación se iniciará desde el acotamiento y avanzará hacia el eje longitudinal del camino. Se dejará en el extremo sin compactar 50 cm, ver figura 9, este ancho servirá de contención y de amarre para los siguientes tramos, cuando se compacte el carril adyacente.

El bordillo inicial se compactará posteriormente.

La junta longitudinal de pavimento rígido y flexible se muestra en la figura 10.

4.6 Juntas Transversales Frías o de Construcción

Al final de la jornada o por alguna suspensión del procedimiento constructivo, se construirá una junta transversal esviada 1:6, siguiendo el siguiente sistema:

- a) Cortar la sección a 90° con una hoja metálica, y dejar la junta perfectamente limpia. El concreto deberá estar en estado fresco para poder desarrollar esta actividad.
- b) Construir una rampa de agregados sueltos en la junta, con el propósito de que el equipo pueda subir al día siguiente para continuar el proceso, ver figura 11.
- c) Al iniciar el proceso constructivo de concreto compactado con rodillos se requiere retirar el material que conforma la rampa y humedecer con agua la junta fría.

En caso de tener una junta longitudinal fría seguir el inciso a) y antes de iniciar el proceso humedecer la junta.

4.7 Curado del Concreto Compactado con Rodillo

El curado de la superficie se iniciará al fin de cada jornada. El pavimento deberá estar libre de cuerpos extraños y limpio antes de iniciar esta etapa.

El curado se realizará con una emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido (RR) con una dosificación de 1.0 lt/m^2 .

5. RIEGO DE LIGA Y CARPETA ASFALTICA

El riego de liga y la carpeta asfáltica de 7 cm de espesor compacto seguirán las especificaciones establecidas para la construcción de pavimentos flexibles.

APENDICE 3

II. DOSIFICACION DE LA MEZCLA DE CONCRETO COMPACTABLE:

CEMENTO:	300	KG/M3
ARENA:	926	KG/M3
GRAVA:	1.134	KG/M3
AGUA:	120	KG/M3

P.V.	=	2.480 KG/M3

CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO

LONGITUD:	1.000	M
ANCHO:	7,2	M
ESPESOR:	0,18	M

VOL.TOTAL	1.296	M03 DE PAVIMENTO DE CCR COMPACTADO
-----------	-------	------------------------------------

COSTO DE LOS MATERIALES

CEMENTO:	210.000	\$/TON
ARENA:	17.914	\$/TON
GRAVA:	17.314	\$/TON
AGUA:	8.165	\$/M03

PESO VOLUMETRICO SUELTO

ARENA:	1.675	KG/M03
GRAVA:	1.467	KG/M03
ASFALTO:	1.800	KG/M03

COSTOS DIRECTOS POR MAQUINARIA Y EQUIPO

PRODUCCION POR MEZCLADO 70 M03/HRA

EQUIPO	\$/HR EQUIPO	\$/HR OPERACION	\$/HR TOTAL	CANT MAQ.	\$/HR TOTAL	\$/M03 TOTAL
FINISHER ABG TITAN 411	342.254	11.945	354.199	1	354.199	5.060
DYNAPAC CA-25	110.785	4.997	115.782	1	115.782	1.654
COMPACTADOR VIBRAT. MANUAL PR-8	12.930	4.997	17.927	1	17.927	256
CAMION FAMSA DE 7 M3	49.445	5.020	54.465	4	217.860	3.112
MEZCLADORA ARAN 250-E-0	449.069	11.945	461.014	1	461.014	6.586
CARGADOR FRONTAL	57.275	4.997	62.272	1	62.272	890
MOTOCONFORMADORA	98.725	5.020	103.745	1	103.745	1.482

COSTO HORA = 1.332.800 \$

COSTO POR M3 19.040 \$

CANTIDADES TOTALES DE MATERIALES, CCR

CEMENTO:	300 x 1296 =	388.800 KG =	388,8 TON	
ARENA:	926 x 1296 =	1.200.096 KG =	1.200,1 TON =	716,5 M03
GRAVA:	1134 x 1296 =	1.469.664 KG =	1.469,7 TON =	1.001,8 M03
AGUA:	120 x 1296 =	155.520 KG =	155.520,0 LT =	155,5 M03

COSTO TOTAL DE LOS MATERIALES, CCR

CEMENTO:	210.000	x	388,8	=	81.648.000 \$
ARENA:	17.914	x	1.200,1	=	21.498.520 \$
GRAVA:	17.314	x	1.469,7	=	25.445.762 \$
AGUA:	8.165	x	155,5	=	1.269.821 \$

TOTAL =					129.862.103 \$

COSTO POR M03					100.202 \$

RESUMEN DEL COSTO DIRECTO DEL CCR COLOCADO

MATERIALES:	100.202 \$/M03
EQUIPO:	19.040 \$/M03

TOTAL:	119.242 \$/M03

COSTO TOTAL PARA 1 KM =	-----
	154.537.951 \$

COSTO COMPARATIVO DE LAS DOS ALTERNATIVAS

A) CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	C.D	TOTAL
SUBRASANTE DE 30 CM	M3	2.160	34.062	73.573.920 \$
CAPA DE TRANSIC. DE 10 CM	M3	720	55.035	39.625.200 \$
CCR DE 18 CM DE ESPESOR	M3	1.296	119.242	154.537.951 \$
BARRIDO DE LA SUP. CCR	M2	7.200	127	914.400 \$
EMULSION ASFALTICA CAT. RR	M2	7.200	1.080	7.776.000 \$
RIEGO DE LIGA FR-3	M2	7.200	1.080	7.776.000 \$
RIEGO DE SELLO MAT. 3-E	M3	86	38.425	3.319.916 \$
COSTO TOTAL				= 287.523.387 \$/KM

B) CONCRETO ASFALTICO

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	C.D	TOTAL
SUBRASANTE DE 30 CM	M3	2.160	34.062	73.573.920 \$
SUB-BASE DE 10 CM	M3	720	22.650	16.308.288 \$
BASE HIDRAULICA DE 23 CM	M3	1.656	55.035	91.137.960 \$
BARRIDO DE LA BASE	M2	7.200	127	914.400 \$
RIEGO DE IMPREGNACION FM-1	M2	7.200	1.080	7.776.000 \$
RIEGO DE LIGA FR-3	M2	7.200	1.080	7.776.000 \$
CARPETA ASFALTICA DE 6 CM	M3	432	150.934	65.203.488 \$
RIEGO DE LIGA FR-3	M2	7.200	1.080	7.776.000 \$
RIEGO DE SELLO MAT. 3-E	M3	86	38.425	3.319.916 \$
COSTO TOTAL				= 273.785.972 \$/KM

CCR/ASFALTO = 1,050175

MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO (FEB 91)
(VIDA UTIL 20 AÑOS)

AÑO	COSTO \$/M ² ASFALTO	COSTO \$/M ² CCR
1	471 ⁽¹⁾	471 ⁽¹⁾
2	471	471
3	471	471
4	471 + 1262 ⁽²⁾ = 1733	471 + 1262 ⁽²⁾ = 1733
5	471	471
6	471	471
7	471	471
8	471 + 5331 ⁽³⁾ = 5802	471 + 1262 = 1733
9	471	471
10	471	471
11	471	471
12	471 + 1262 = 1733	471 + 1262 = 1733
13	471	471
14	471	471
15	471	471
16	471 + 5331 = 5802	471 + 1262 = 1733
17	471	471
18	471	471
19	471	471
20	471 + 1262 = 1733	471 + 1262 = 1733
TOTAL = 23,328		TOTAL = 15,730
AHORRO = 48.3%		

(1) MANTENIMIENTO NORMAL: DESAZOLVE, LIMPIEZA, REPOSICION, LINEAS DIVISORIAS

(2) MANTENIMIENTO EXTRAORDINARIO. RIEGO DE SELLO

(3) REPARACION DE PAVIMENTO

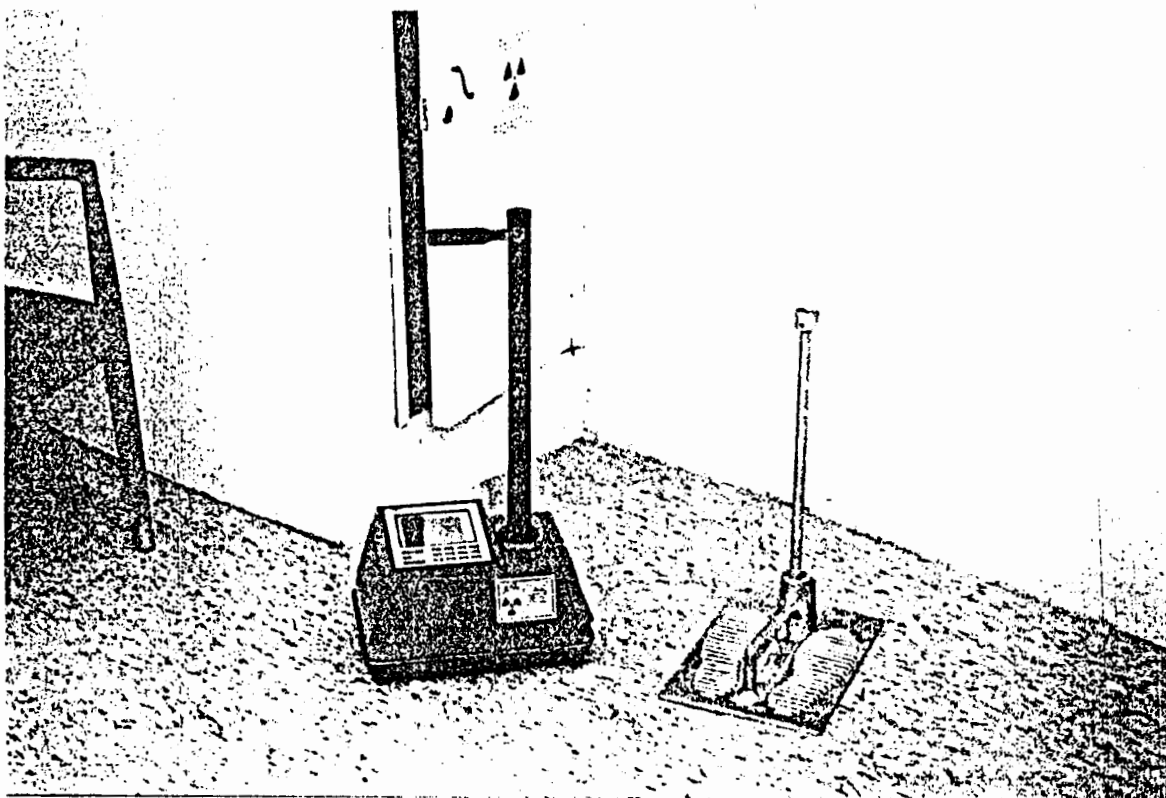


Figura 1.- Densímetro Nuclear

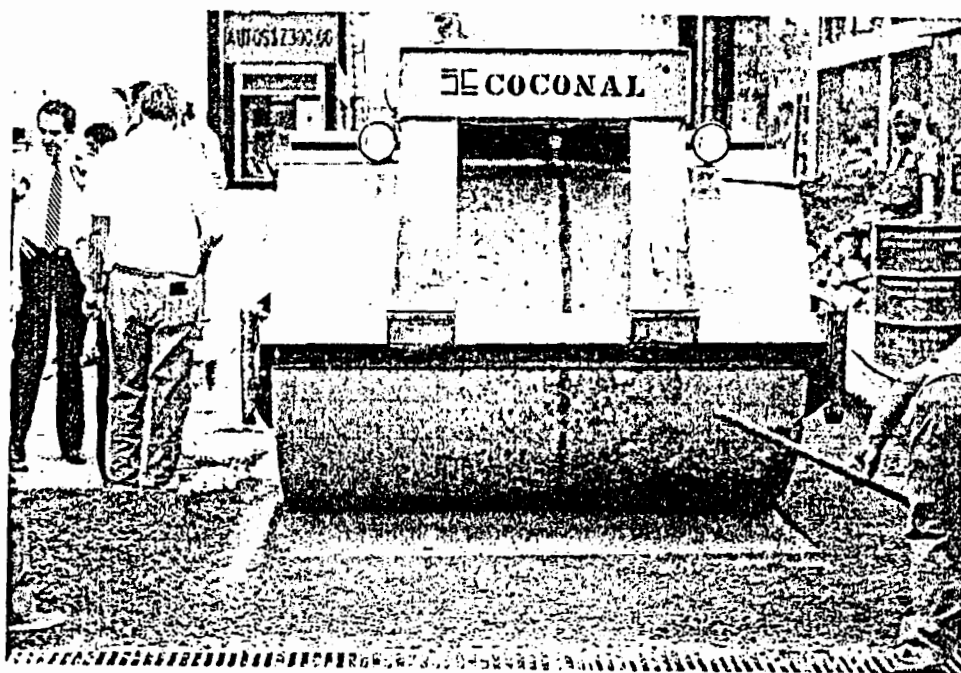


Figura 2.- Tramo experimental en la Autopista
México-Cuernavaca, Km. 23

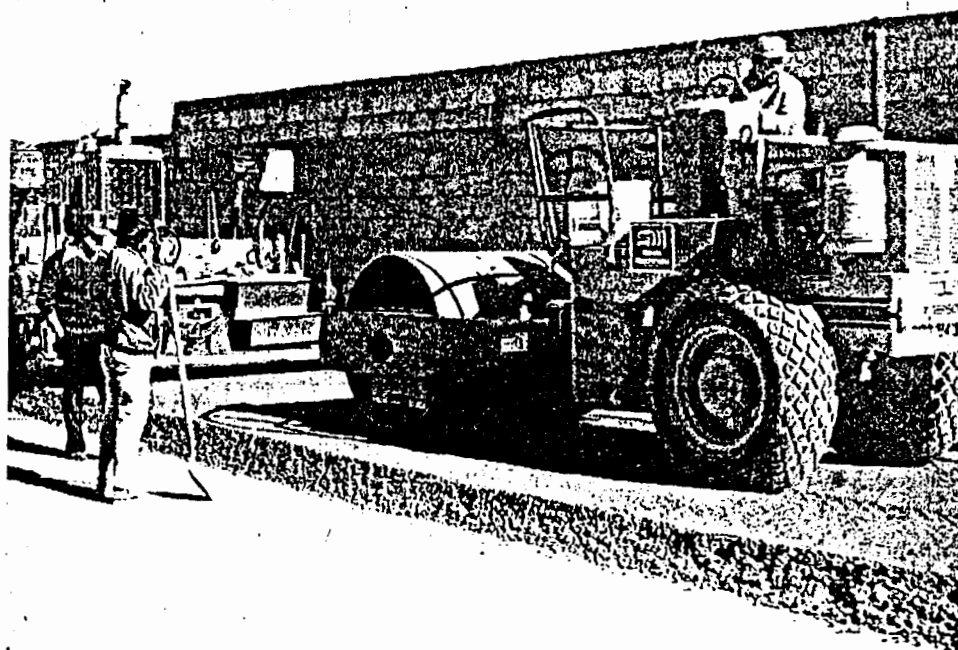


Figura 3.- Tramo experimental en una Planta de Concreto Premezclado, Cd. Juárez, Chih.



Figura 4.- Calle urbana, Cuernavaca, Mor.

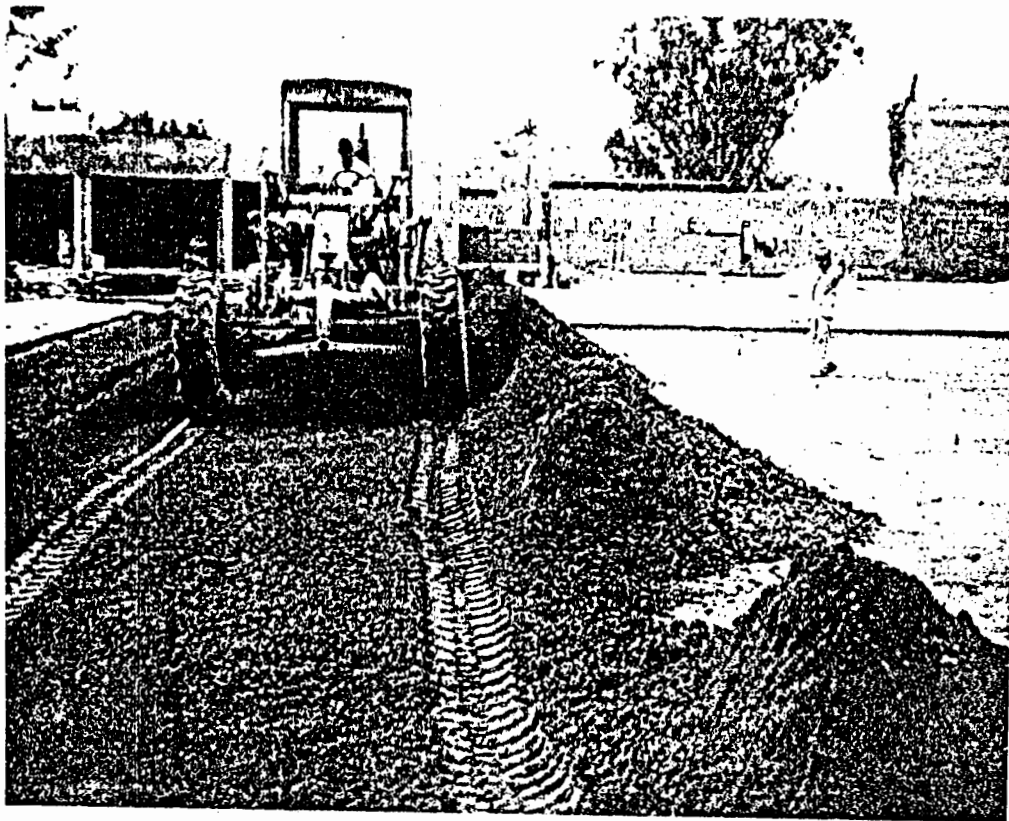


Figura 5.- Patio comercial, Temixco, Mor.

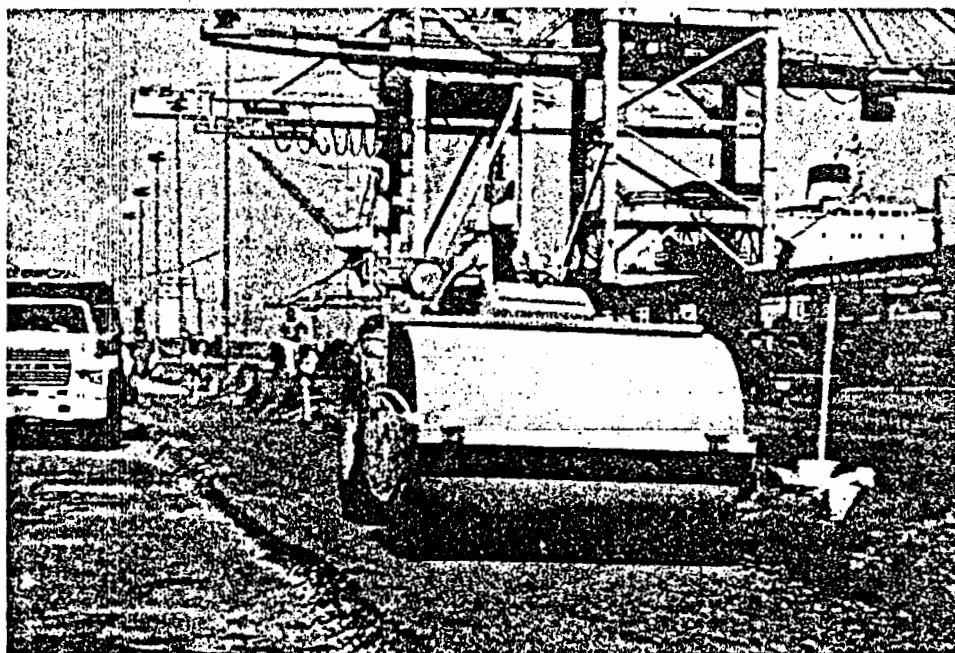


Figura 6.- Caminos de acceso a la Terminal de Usos Múltiples del Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

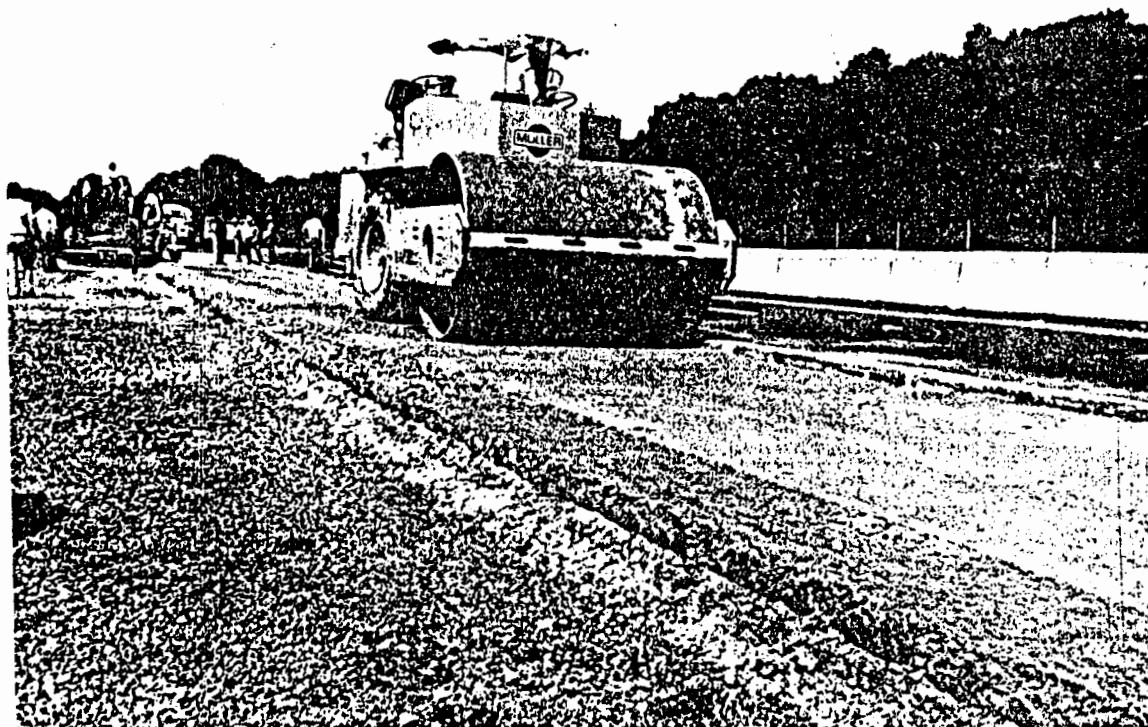
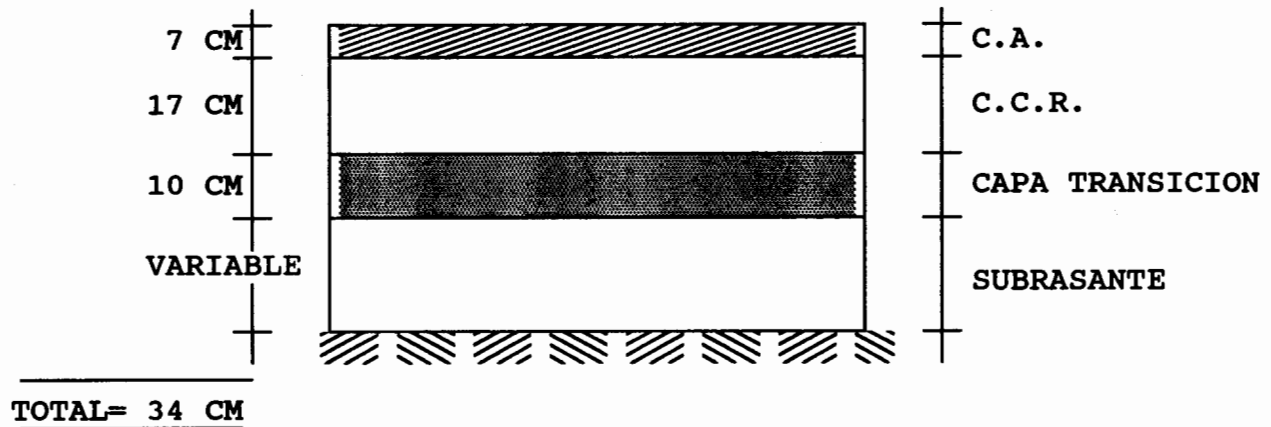


Figura 7.- Tramo de Pavimento en el Cuerpo B,
carril de ascenso, Km. 73 + 100 de
la Autopista México-Cuernavaca.

SECCION RIGIDA



SECCION FLEXIBLE

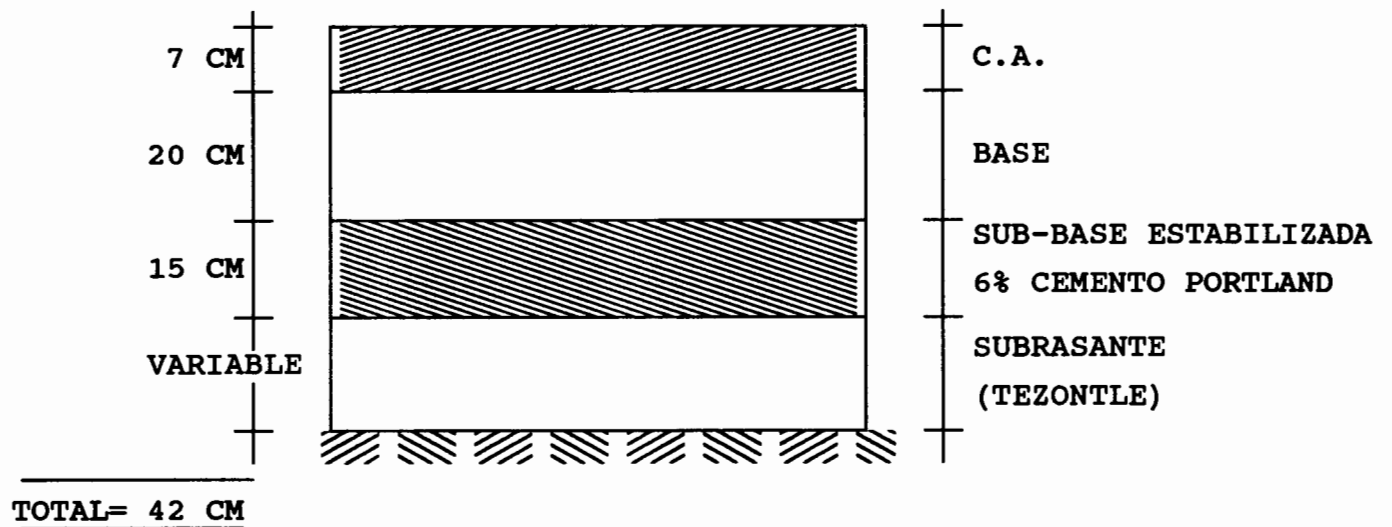


Figura 8
Estructura de Pavimento Rígido y Flexible

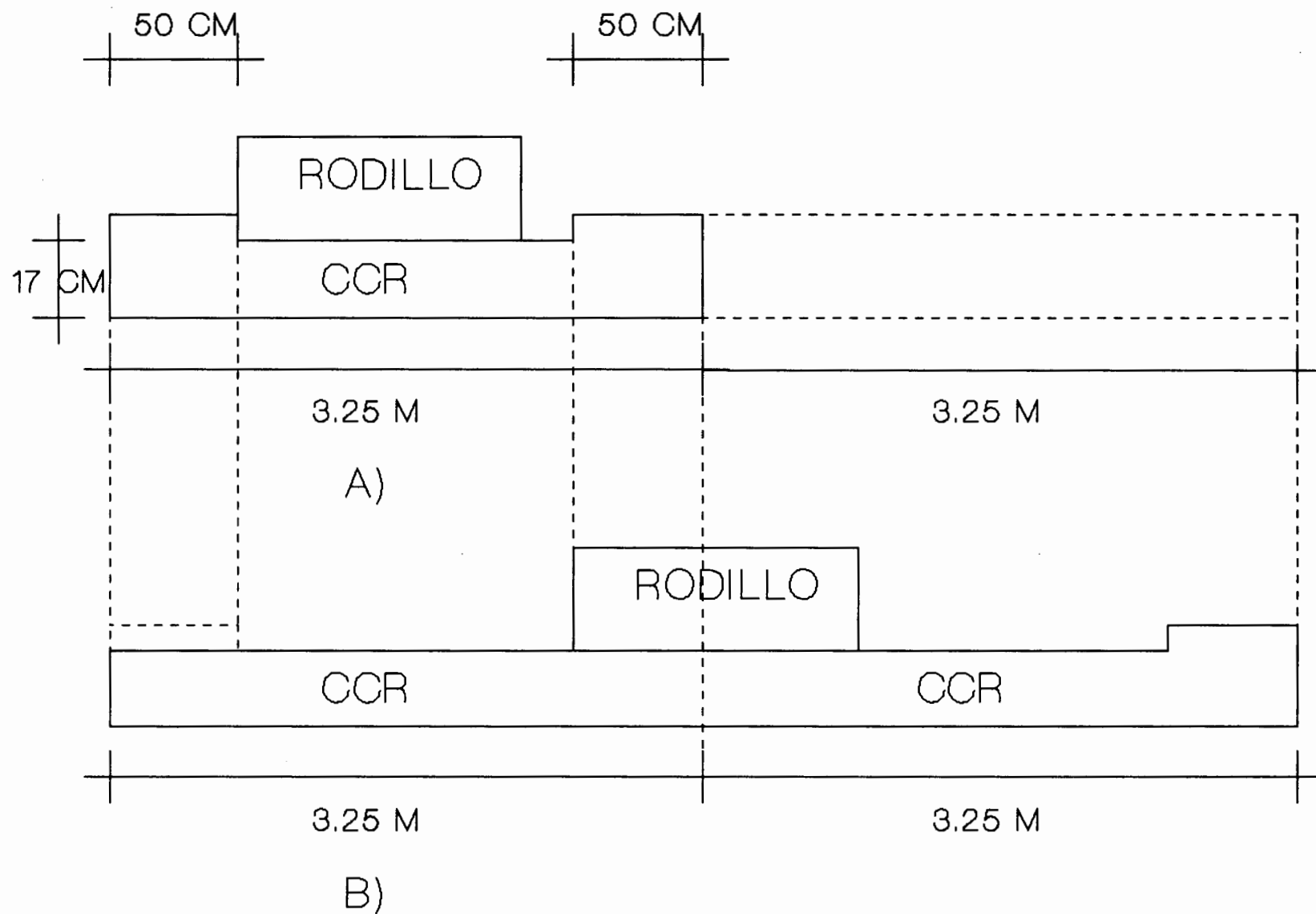


FIGURA 9.- JUNTAS LONGITUDINALES FRESCAS

PROPUESTA: JUNTA LONGITUDINAL DE PAVIMENTO RIGIDO (20/VI/91)

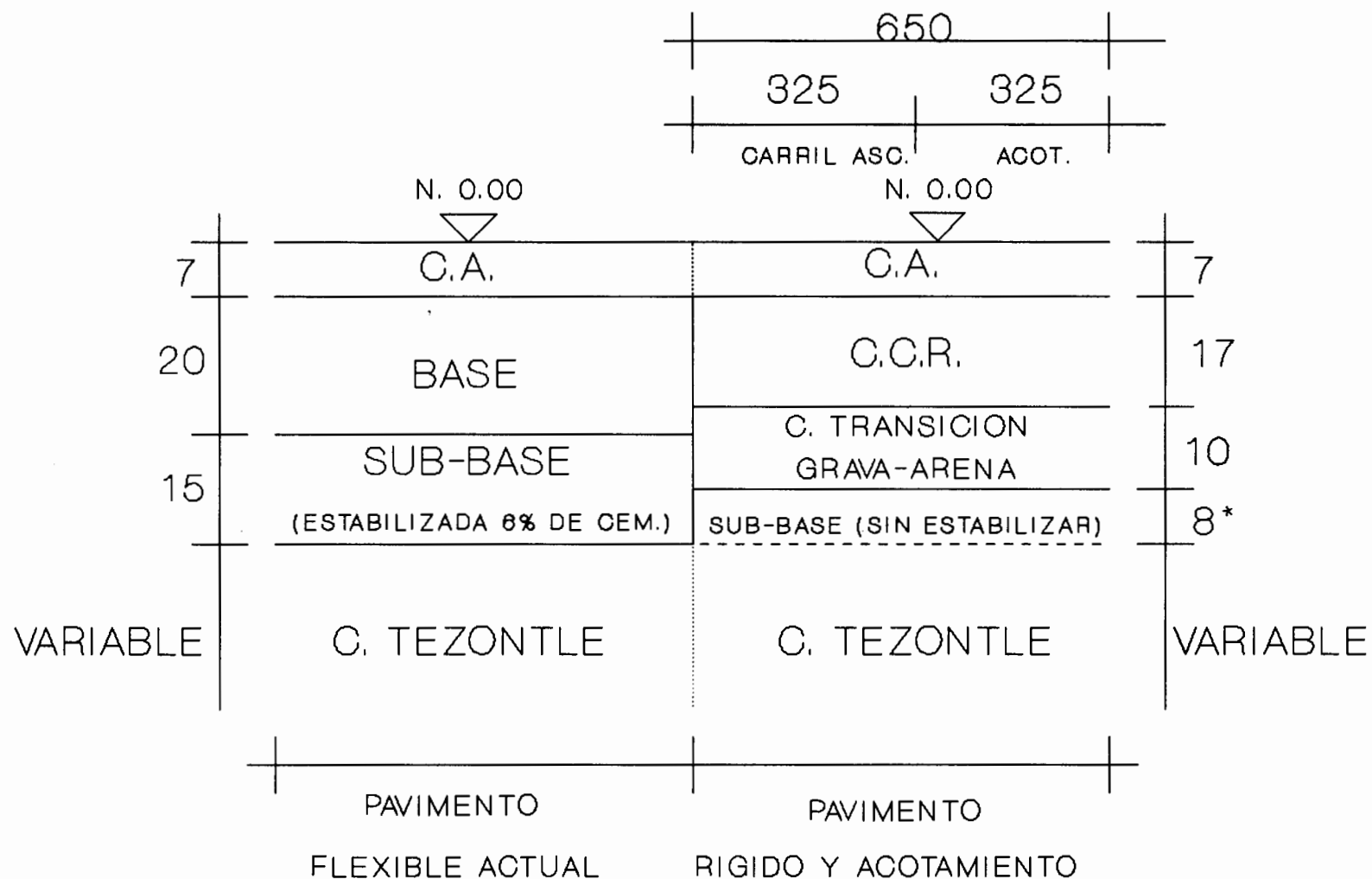


FIGURA 10.- JUNTA DE PAVIMENTO RIGIDO Y FLEXIBLE

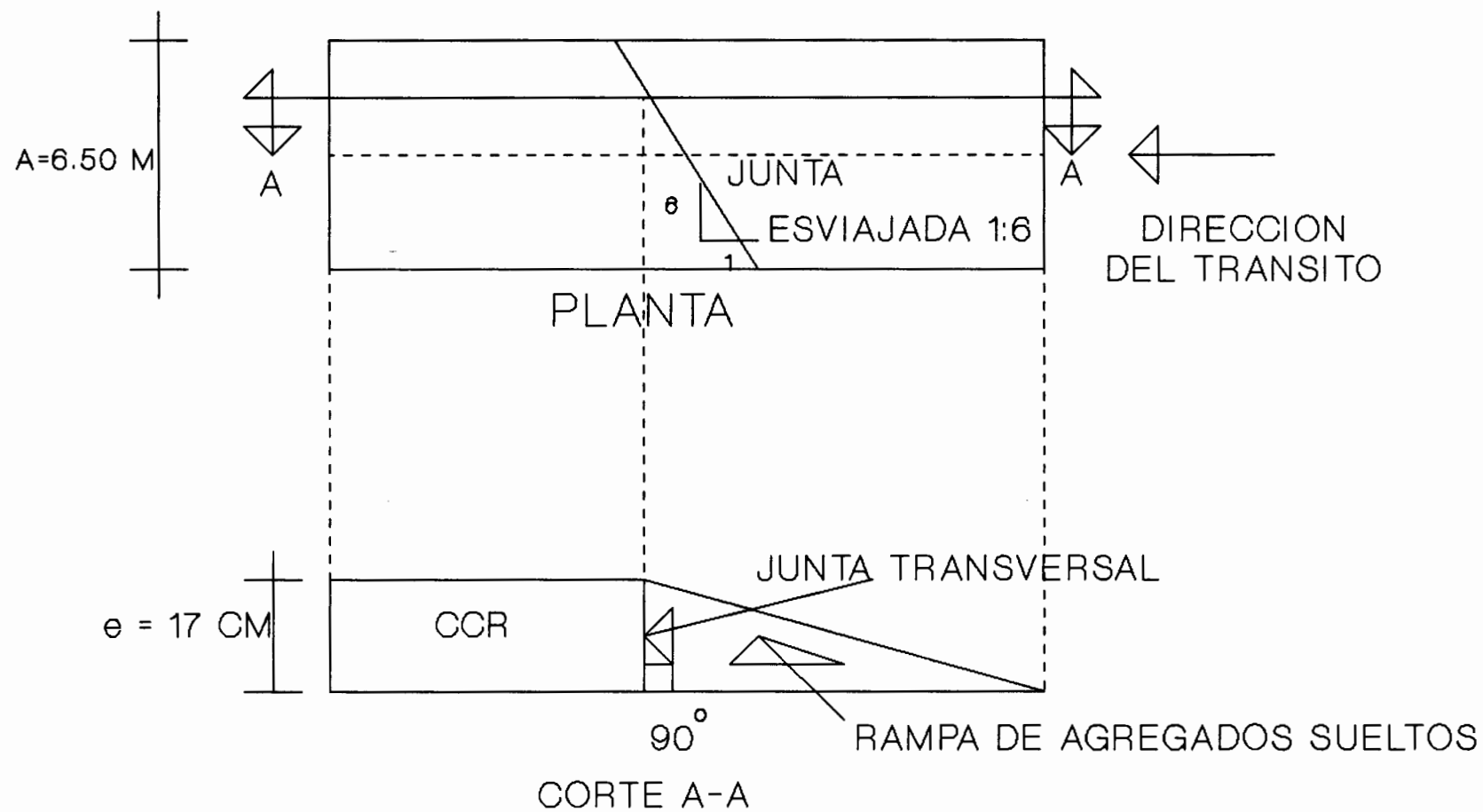


FIGURA 11.- JUNTAS ESVIAJADAS 1:6 Y RAMPAS DE ACCESO

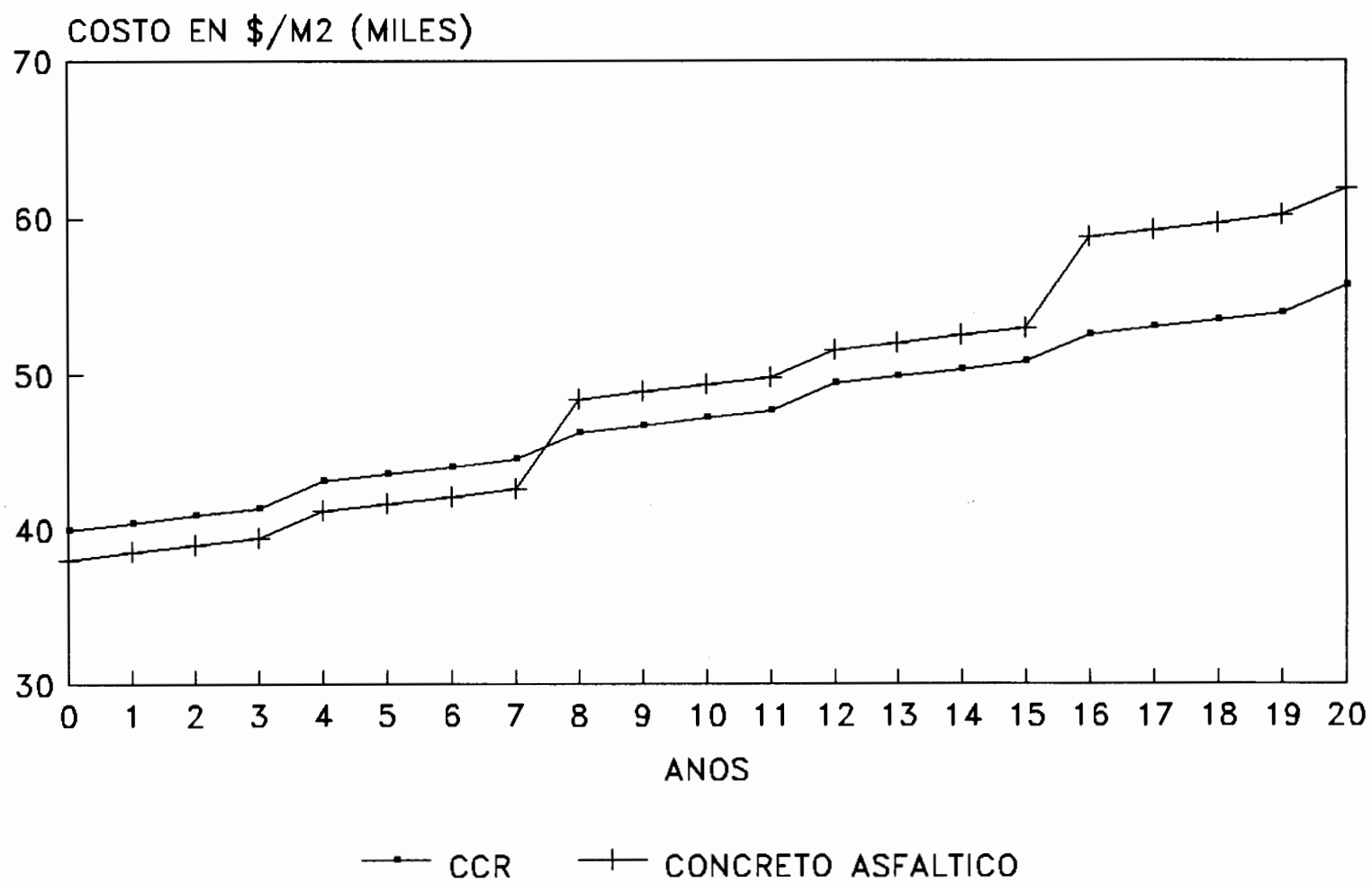


FIGURA 12.— COSTO DEL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS DE
CCR VS. ASFALTO

VENTAJAS	
COMPACTADOR NEUMATICO	MESA VIBRATORIA
RAPIDEZ DE PRUEBA	- NO TRITURA EL MATERIAL
DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO EN OBRA	- MEJOR ACOMODO DEL MATERIAL

DESVENTAJAS	
COMPACTADOR NEUMATICO	MESA VIBRATORIA
SI LOS AGREGADOS SON SUAVES SE PUEDE PRESENTAR TRITURACION PARCIAL (2-8%)	- COMPACTACION POR VIBRACION INFERIOR
	- EL SOBREPESO NO ES PROPORCIONAL AL PESO DEL EQUIPO DE CAMPO

CUADRO 1.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL COMPACTADOR NEUMATICO
Y MESA VIBRATORIA

F/DEPFI/TI 2/1991/EJ.2



717514