

42



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**"DISEÑO DE PAVIMENTOS CON CONCRETO
COMPACTADO CON RODILLOS"**

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

MONICA DEL CARMEN / CORIA GOMEZ

Director de Tesis : M. I. Gabriel García Altamirano



MEXICO, D. F.

1995

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-170/94

Señorita
MONICA DEL CARMEN CORIA GOMEZ
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. GABRIEL GARCIA ALTAMIRANO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

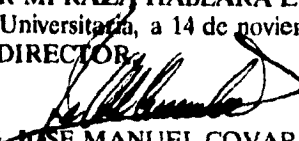
"DISEÑO DE PAVIMENTOS CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS"

- I. INTRODUCCION**
- II. NORMAS DE CALIDAD Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES A EMPLEAR**
- III. PRUEBAS DE LABORATORIO**
- IV. DISEÑO Y DOSIFICACION DE MEZCLAS**
- V. DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO CON C.C.R.**
- VI. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 14 de noviembre de 1994.
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/RCR*nl

DEDICATORIA.

A DIOS:

por todo se amor y por permitirme vivir de manera tan intensa en este mundo de retos.

A MIS PADRES: MARIA DE JESUS Y JUAN.

Con todo cariño y admiración por el amor, esfuerzo y dedicación brindado a lo largo de toda su vida, y por la lucha constante en lograr mi formación.

A TODOS MIS HERMANOS:

En especial a Lourdez, Rita, Martha, Edith con quienes siempre he contado.

A TODOS MIS AMIGOS:

En especial a Isaac Vivas, Alejandro Gama, Enrique Sánchez y Mario Chávez.

A MIS MAESTROS:

Porque a ellos debo parte de mi formación.

AGRADECIMIENTOS.

Manifiesto mi agradecimiento al M.I. Gabriel García Altamirano por la dirección, asesoramiento y aprobación de este trabajo.

Expreso mi gratitud al Ing. Pedro Gómez Colio. Jefe de Laboratorios de la Dirección de Proyectos Servicios Técnicos y Conexiones de la SCT. Por la autorización y apoyo brindado para la realización de las pruebas de laboratorio en las instalaciones que a su digno cargo dirige; permitiendo con ello el desarrollo de esta labor.

Hago patente mi agradecimiento a los Ings. Jorge López Vicente y Pfo Quinto Juárez González por el apoyo continuo que me proporcionaron durante y después de mi estancia en el área de laboratorios; no solo con su útil ayuda sino con sus valiosos comentarios y enseñanzas.

A las personas que laboran en el laboratorio de concreto de esta dirección de SCT. en especial a: Ing Ignacio Gamiño, Sr. Agustín Vela y Sr. Agustín Sesma. por su ayuda en la elaboración de las pruebas realizadas.

Al M.I. Amilcar Galindo Solórzano un profundo agradecimiento por su gentil apoyo incondicional logrando con ello la impresión de esta tesis.

A el Dpto. de Informática de la SCT donde se elaboró parte de este trabajo en especial a: Ing. Miguel Martínez González y Juan Frías Majúl.

A la Subdirección de Informática de la Dirección General de Bibliotecas de la U.N.A.M donde se elaboró gran parte de este escrito. Manifiesto mi gratitud a: Matemático Alejandro Ramírez Nieto, Isaac Vivas Escobedo.

INDICE.

	Pág.
CAPITULO 1: INTRODUCCION	1-37
1.1.- Reseña histórica del Concreto Compactado con Rodillos CCR.....	4
1.2.- Generalidades.....	28
1.3.- Objetivos de la investigación.....	32
1.4.- Definición de Concreto Compactado con Rodillos CCR.....	34
CAPITULO 2: NORMAS DE CALIDAD Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES A EMPLEAR	38-60
2.1.- Agua.....	39
2.2.- Agregados.....	39
2.3.- Cemento.....	46
2.4.- Aditivos.....	50
2.5.- Resultados de resistencia y calidad de los materiales empleados para la elaboración de mezclas de CCR y concreto convencional.....	53-60
Material NO.1: Agregado de río.....	53
Material NO.2: Caliza.....	55
Material NO.3: Tezónfle.....	57
Material NO.4: Andesita.....	60
CAPITULO 3: PRUEBAS DE LABORATORIO.	61-126
3.1.- AGREGADOS.....	61
3.1.1.- Granulometría.....	63
3.1.2.- Equivalente de arena.....	64

3.1.3.- Sanidad e intemperismo acelerado.....	70
3.1.4.- Peso volumétrico suelto.....	73
3.1.5.- Peso volumétrico compacto.....	75
3.1.6.- Peso volumétrico máximo óptimo.....	76
3.1.7.- Prueba de abrasión (desgaste de los angeles).....	78
3.1.8.- Densidad y absorción del agregado fino.....	81
3.1.9.- Densidad y absorción del agregado grueso.....	84
3.2.- CONCRETO HIDRAULICO	86
3.2.1.- Revenimiento.....	86
3.2.2.- Fabricación de especímenes y curado de los mismos.....	88
3.2.2.1.- Fabricación de especímenes de concreto para la prueba de compresión y brasileña.....	88
3.2.2.2.- Fabricación de especímenes de concreto para la prueba de flexión.....	90
3.2.3.- Resistencia a la compresión.....	91
3.2.4.- Resistencia a la tensión por flexión.....	92
3.2.5.- Resistencia a la tensión por compresion (prueba brasileña).....	93
3.3.- CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS CCR.....	94
3.3.1.- Revenimiento.....	94
3.3.2.- Fabricación de especímenes y curado de los mismos.....	97
3.3.2.1.- Fabricación de especímenes de concreto para la prueba de compresión y brasileña.....	97
3.3.2.2.- Fabricación de especímenes de concreto para la prueba de flexión.....	99
3.3.3.- Resistencia a la compresión.....	101

3.3.4.- Resistencia a la tensión por flexión.....	102
3.3.5.- Resistencia a la tensión por compresion (prueba brasileña).....	103

3.4.- CEMENTO

3.4.1.- PRUEBAS FISICAS.

3.4.1.1.- Permeabilidad al aire, aparato de blaine.....	105
3.4.1.2.- Peso específico.....	110
3.4.1.3.- Consistencia normal.....	112
3.4.1.4.- Tiempo de fraguado Vicat.....	115
3.4.1.5.- Sanidad acelerada en autoclave.....	117

3.4.2.- PRUEBAS MECANICAS.

3.4.2.1.- Resistencia a la tension de briquetas de mortero.....	120
3.4.2.2.- Resistencia a la compresión de cubos de mortero.....	123

CAPTULO 4: DISEÑO Y DOSIFICACION DE MEZCLAS.127-171

4.1.- PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR.

4.1.1.- Material NO.1: Agregado de río.....	128
4.1.2.- Material NO.2: Caliza.....	131
4.1.3.- Material NO.3: Tezónfle.....	134
4.1.4.- Material NO.4: Andesita.....	137

4.2.- PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS CON CONCRETO CONVENCIONAL.

4.2.1.- Material NO.1: Agregado de río.....	140
--	------------

4.3.- Gráficas y tablas de resultados obtenidos a compresión,tensión y

flexión.....	143-169
Corrección por absorción, humedad y contaminación de agregados.....	170
CAPITULO 5: DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO CON CCR.	172-236
5.1.- Funciones de la estructura de un pavimento.....	173
5.2.- Funciones y características de las capas de un pavimento.....	177
5.2.1.- Terraplenes.....	177
5.2.2.- Sub-base y losa.....	181
5.3.- Diseño de pavimentos con concreto compactado con rodillos CCR.....	185
5.3.1.- Método PCA.....	186
5.3.2.- Método AASHTO.....	208
Comentarios.....	235
CAPITULO 6: CONCLUSIONES.	237-244
BIBLIOGRAFIA:	245

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El creciente problema de deterioro de las carreteras, al aumentar los pesos y dimensiones de los vehículos ha originado la necesidad de crear nuevas técnicas de diseño y construcción de pavimentos que permitan soportar cargas pesadas; así como de emplear materiales que brinden no solo mejores características de comportamiento mecánico sino mayor durabilidad y el mínimo de mantenimiento durante su vida útil.

Uno de los materiales que ha tenido gran éxito a nivel mundial en estructuras de pavimentos como capa de rodamiento en las carreteras es el concreto compactado con rodillos CCR. Este material por su forma de producción y colocación, compite en costos totales (de construcción, mantenimiento y rescate) con los asfálticos y actualmente puede lograrse que las superficies de rodamiento minimicen su rugosidad, sin alabeos y con la textura adecuada.

En este trabajo se hace mención de los factores para determinados agregados pétreos de éxito de esta técnica los cuales van desde un riguroso control en el laboratorio hasta el diseño, además se hicieron visitas a obras de este tipo de construcción para verificar la colocación, compactación y curado del material.

El control de calidad en el laboratorio comprende la determinación de granulometría y resistencias a la compresión, tensión y flexión de cilindros elaborados. Mientras que en la construcción se requiere la determinación de la humedad en campo y en el tendido, los espesores de capas, las pruebas de compactación, así como los esfuerzos de tensión en cilindros compactados y en corazones de concreto.

El primer capítulo se reseña la historia del CCR, además se mencionan algunas investigaciones y obras realizadas a nivel mundial y nacional hasta la fecha. Se trata también sobre el objetivo de este trabajo.

Las normas de calidad que se aplican hasta la fecha para CCR; a las que se deberán sujetar los materiales para proporcionar un comportamiento adecuado en nuestro país; se presentan en el capítulo 2.

Algunas pruebas de laboratorio que se deben realizar a los materiales componentes de la mezcla, como a la mezcla en estado endurecido; están descritas en el tercer capítulo

En el cuarto capítulo se trata sobre el proporcionamiento de mezclas realizadas exponiendo los procedimientos y el criterio utilizado para su realización; además de los resultados obtenidos a compresión tensión y flexión para cada una de las mezclas ensayadas; tanto de CCR como de concreto hidráulico convencional.

El diseño de espesores para CCR y concreto hidráulico convencional se presenta en el capítulo 5; mediante el método PCA y AASHTO en función de sus parámetros y condiciones.

En el sexto capítulo se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones obtenidas en este caso.

1.1.-RESEÑA HISTORICA DEL C.C.R.

El Concreto Compactado con Rodillos C.C.R., es un material que esta teniendo gran aceptación sobre todo en pavimentación, debido a las pesadas cargas que es capaz de soportar y a su bajo costo de conservación y de construcción comparado con el concreto hidráulico. En 1923 existen registros del uso de C.C.R. y de su comportamiento adecuado.

Las palabras "Concreto Compactado con Rodillos", se encuentran en la literatura asociadas con una mezcla de concreto pobre para emplearse en lugar de la base hidráulica, en un camino construido, en el verano de 1952 en Crawley, Inglaterra.

Probablemente muy pocos saben que el Concreto Compactado con Rodillos se originó en el otoño de 1923, en el camino de Sheridan, en Chicago EE.UU., donde se construyó una losa de concreto de siete a ocho pulgadas de espesor, construida con una técnica conocida como Pavimento de Concreto Comprimido "armoplated", (American Vibrolithic Corporation, 1928), dicho método se enunciaba de la siguiente manera: "El pavimento de Concreto Comprimido "Armoplated" se construye bajo un proceso científico mejorado que se deriva del método vibrolítico de comprimir el aire y el exceso de agua de un concreto plástico utilizando la combinación de fuerzas de vibración y presión aplicadas simultáneamente, lo cual deja una losa con relación agua cemento lo más baja posible, y produce un pavimento de resistencia y densidad máximas.

La elevada densidad y resistencia se lograba incrustando una cantidad específica de grandes pedazos de roca triturada por medio de una plataforma de madera con hule sobre la cual circulaban unos rodillos vibratorios. Posteriormente se daba un acabado a la superficie con cucharas de mango largo distribuyendo uniformemente la delgada capa de mortero que se forma en la superficie debido al proceso de consolidación. La densidad de este concreto, se demostraba haciendo retroceder un camión de diez (10) toneladas (inglesas) sobre el concreto fresco comprimido. Lo anterior que puede ser considerado como un gran adelanto en la tecnología de pavimentos quedó de repente olvidado en el tiempo.

Reportes al terminar los años 50's y en los 60's indican que el uso de los concretos pobres y bases estabilizadas antes populares empezaron a declinar, tal vez debido a dos razones:

- 1.-El desarrollo de la pavimentadora deslizante para concreto.**
- 2.-El uso extensivo de materiales asfálticos para la construcción de caminos**

En los 70's empieza una nueva era en la utilización del C.C.R. La crisis energética elevó los precios del petróleo, y consecuentemente la atención se volvió hacia los materiales graduados enriquecidos con cemento. Fue así como el Concreto Compactado con Rodillos se utilizó en forma masiva en presas.

Con la popularidad del C.C.R. se empezaron a construir muchas secciones de prueba para pavimentos, en un esfuerzo por encontrar nuevas aplicaciones.

Esta técnica ha sido desarrollada por algunos contratistas locales en forma autodidacta, al estar poco tecnificadas las empresas que promovieron esta tecnología, estas obras se han realizado sin estudios previos de laboratorio y sin suficientes controles durante su ejecución para determinar las densidades y resistencias obtenidas, el comportamiento de las mismas permite afirmar que a través de la práctica se ha puesto a punto una tecnología totalmente adecuada a los tipos de vías en los que se ha utilizado.

EXPERENCIAS INTERNACIONALES

***Estados Unidos y Canadá**

En Norteamérica, las técnicas del concreto compactado con rodillos dentro del terreno de la pavimentación ha sido utilizado en áreas sometidas a tráfico muy pesados (zonas de manipulación de troncos en explotaciones forestales o de containers en puertos, estacionamientos de aeropuertos, etc.). En este caso el pavimento de concreto compactado con rodillos se ha dispuesto en general, sin ninguna capa de protección superficial, habiendo exhibido un buen comportamiento aún en aquellos situados en regiones como Columbia Británica, con inviernos muy duros.

Sin duda alguna uno de los pioneros de esta área lo fue el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. quien ha aprobado dicho material para fajas de estacionamiento para naves aéreas, pistas de rodaje, así como otros pavimentos en instalaciones militares, con lo cual se ha formado el interés entre todos aquellos relacionados con la construcción de pavimentos.

Aunque EE.UU. estaba progresando lentamente en los años 70's con las presas de C.C.R. solo una pequeña sección de pavimento de prueba de C.C.R. (3.65 x 32m) fue instalada en la estación experimental de vías fluviales del ejército de EE.UU en Misisipi en 1975. Sin embargo algunos ingenieros y contratistas de Columbia Británica, Canadá, estaban obteniendo excelentes resultados empleando pavimento

para construir pavimentos de uso pesado en áreas de estacionamiento de muelles de carga.

El material demostró ser particularmente apropiado para patios de contenedores de remolques, por lo que se decidió ensayar el C.C.R. como base y superficie de rodamiento combinadas o como pavimento total. La posición era sustituir el recubrimiento a base de asfalto, por C.C.R. que hasta ese momento estaba funcionando muy bien. Esta línea de razonamiento condujo a la construcción, en 1976 de todo un pavimento para un patio de selección de troncos de árbol en Caycuse, en la parte central de la isla de Vancouver, en Columbia Británica.

La industria de productos forestales se enfrentaba entonces a rígidos reglamentos ambientales, que no hacían práctico continuar con el método común de seleccionar y conservar los troncos en el agua a lo largo de las zonas boscosas. Pero los grandes patios de selección en seco de inmediato se convertirían en grandes lodasales e no ser que estuvieran revestidos. Puesto que el asfalto no era práctico en muchos lugares aislados, la decisión fue probar con el C.C.R.

Cuando se inspeccionaron los pavimentos en Diciembre de 1983 y de nuevo un año después, los pavimentos en Caycuse se encontraban en excelente estado, a pesar de las severas condiciones de servicio. Las cargas aplicadas son de 109 toneladas y los camiones que transportan los troncos tienen un peso de 120 toneladas. Además el pavimento es sometido a intensa abrasión cuando los troncos son empujados sobre la superficie. No se encontraron problemas estructurales y la superficie estaba en

condiciones excelentes. Se observaron pocas juntas longitudinales de construcciones abiertas. Muchas de las grietas transversales eran estrechas; la mayoría eran de 1.5 a 3 mm de ancho y muy pocas de 9mm. No se había tratado de sellar las grietas o hacer algún trabajo en ellas y no se apreciaban señales de desmoronamiento; o descascaramiento; las grietas no estaban causando problema alguno.

Este pavimento esta situado en una área de numerosos ciclos de congelación y deshielo, aunque las temperaturas invernales rara vez son inferiores a 6°C. No se observò evidencia alguna de deterioro por congelación y deshielo aún cuando, al igual que otros pavimentos de C.C.R., el pavimento de Caycuse no tiene aire incluido. Los núcleos formados del pavimento mostraron resistencia a la compresión de 210 a 351 Kg/cm² con la mayoría de los resultados entre los 280 y 295 kg/cm².

El primer pavimento importante de C.C.R. construido en clima realmente severo fue un camino de arrastre de 11 millas de largo desde la mina de carbón Bull Moose hasta una terminal férrea en Tumbler Ridge, la población más reciente de Canadá, Además del camino había también una área de carga de 2.5 ha. en la terminal construida a fines del otoño de 1983 sobre sub-bases extremadamente pobres.

El área de carga tiene diecisiete (17) centímetros de espesor de C.C.R. sin recubrimiento alguno. El camino fue diseñado sin base, y en muchas áreas de sub-bases muy pobres el contratista colocó una base granular como plataforma de trabajo.

La mezcla de C.C.R. tenía 12% de material aglutinante por peso; la mitad de cemento portland y la otra mitad de puzolana natural de fuente local diseñada para una resistencia a la flexión de 32 kg/cm² a 56 días, el curado se realizó con pipas de agua durante las primeras horas seguido por una aplicación de emulsión asfáltica. Gran parte del C.C.R. se congeló por completo durante la primera noche después de concluir el colado.

En el verano de 1985 se inspeccionó esta obra por el gran interés existente en cuanto a la durabilidad del pavimento de C.C.R. en clima sumamente severo. El recubrimiento de asfalto del camino se ha deteriorado en un grado considerable pero el C.C.R. se ha comportado muy bien y solo existen puntos de deterioro donde el apoyo de la sub-base era en extremo pobre. En el área de carga, donde el C.C.R. está expuesto sin recubrimiento alguno, parecía estar en perfectas condiciones sin mostrar deterioro alguno por congelación y deshielo. El camino es utilizado por camiones de 7 ejes para el transporte del carbón con una carga bruta de ochenta (80) toneladas que operan durante veinticuatro (24) horas todo el año.

Mientras tanto se comenzó a emplear el pavimento de C.C.R. en EE.UU. al principio solo por el cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU.

En 1983 la estación experimental de vías fluviales colocó una área pequeña de pavimento de C.C.R. en un camino para tanques en Fort Stewart, Georgia, empleando tropas de dicha estación como mano de obra. Aún cuando el camino fue colocado en una área de sub-base pobre mediante métodos de pavimentación bastante

rudimentarios, los usuarios están bastante satisfechos con el producto terminado.

El primer pavimento importante de C.C.R. en EE.UU. fue construido en Fort Hood, Texas, en Agosto de 1984, por el Fort Worth District del cuerpo de ingenieros, con la ayuda de la estación experimental de vías fluviales se trata de una gran área de estacionamiento para tanques y otros vehículos de oruga, alrededor de un taller de reparaciones y mantenimiento. Se colocó una área de 15,050 m² de pavimento de 25.4 cm de espesor en una sola capa, a un costo aproximado de 56 dólares por cada m³ colocado.

La mezcla de C.C.R. contenía 178 Kg de cemento portland y 95 kg de ceniza volante por m³. La mayor parte del C.C.R. tenía agregado de tamaño máximo de 1 1/2" ajustado a la especificación C33 ASTM, con agregado fino separado. Este tamaño de agregado sí planteó algunos problemas. Se observó una tendencia a la segregación durante el manejo, y el acabado de la superficie no era tan bueno como el que se había obtenido con agregados de tamaño menor.

El clima también causó problemas en Fort Hood una temperatura de 38°C con fuertes vientos hizo difícil evitar el secado excesivo de la superficie. A pesar de las dificultades, las vigas aserradas del pavimento tuvieron, en las pruebas de 56 a 63 Kg/cm²; que es una resistencia a la flexión bastante superior a la especificada, de 46 kg/cm².

A principios de la primavera de 1985 el puerto de Tacoma, en Washington, comenzó la construcción de la primera de tres áreas de carga a lo largo de las vías férreas en los muelles, teniendo cada una 29,263 a 41,805 m² de pavimento de C.C.R. de 30 a 43 cm de espesor compactos. Estas áreas pavimentadas se diseñaron para almacenamiento de grandes contenedores de carga, estacionamiento de remolques "Piggy-Back" y para la operación de grúas de marco "Piggy-Packer" con cargas de eje de 93 toneladas para el manejo de contenedores de carga.

Los dos primeros proyectos de C.C.R. en los muelles de Tacoma fueron construidos con equipo similar al ya descrito anteriormente pero en el tercer proyecto se utilizó una pavimentadora alemana, nueva en EE.UU. La máquina es similar a las pavimentadoras Estadounidenses, pero funciona para trabajo más pesado y es capaz de colar una capa de 30 cm de espesor de C.C.R. ya compactado. Estaba equipada con dos llantas apisonadoras que pueden compactar el material al 94 o 95% de la prueba próctor modificada, conforme sale de la pavimentadora. Así pues el rodillo sencillo que le seguía afectó muy poca compactación adicional y casi no originó asentamiento alguno de la superficie del pavimento, lo cual es una gran ventaja para mantener tolerancias de acabado.

***España**

En España las primeras aplicaciones de Concreto Compactado con Rodillo tuvieron lugar alrededor de 1970, en la provincia de Barcelona. Se trata de pavimentos sujetos a tránsitos ligeros ubicados en caminos rurales, vías urbanas y urbanizaciones residenciales.

Otras de las aplicaciones que ha tenido el C.C.R. lo constituye la pavimentación de carreteras para tránsito medio o pesado, la primera experiencia que se tuvo fue la pavimentación del Túnel de Cadí en la provincia de Barcelona en Septiembre de 1984. Se trataba de una obra en la que , por diversas causas, era imprescindible no interrumpir en ningún momento el tráfico en el túnel. La capa de C.C.R. tiene un espesor de 23 cm con una capa de rodadura de 6 cm de espesor. La longitud del túnel es del orden de 5 Km.

A fines de 1984, se construyó 1,100 m de longitud en la carretera local de León a Collanzo, en las proximidades de la localidad de Villasinta. La superficie construida de C.C.R. en 1984 puede estimarse en unos 47,000m².

En 1985, se construyeron los tramos de Bétera (Valencia), Santiponce y la Algaba (Sevilla) y Alcañiz (Teruel). Asimismo se construyeron otras tres obras en la provincia de Madrid. La más importante consistió en la adición de un tercer carril de Madrid a Valencia, cada uno de los tramos con una longitud aproximada de 1 Km. También se empleó el C.C.R. en la construcción de dos firmes urbanos, uno de ellos

en la urbanización de Tres Cantos y otro en una zona industrial de Madrid a Burgos. La superficie total de estas obras es de 67,000 Km²

En 1986, si bien disminuyó el número de obras construidas con C.C.R. respecto a 1985; varios hechos importantes pueden destacarse en este año; por una parte la aparición de las primeras prescripciones oficiales de la Dirección General de Carreteras sobre C.C.R. ya que hasta este momento no existía ningún documento oficial al respecto. Otro hecho a resaltar es el empleo por primera vez en una carretera interurbana de doble calzada.

En 1987 se produjo la utilización del C.C.R en autovías y autopistas. Dentro del programa de autovías, se ha empleado en la Madrid-Bailón, concretamente en los tramos Valdepeñas-Almuradiel 22 Km y Villaverde- Sesaña 30 Km. La primera de dichas obras ha consistido en la duplicación de la calzada existente; mientras que en la segunda, el C.C.R. se ha utilizado en la adición de un carril de 3.5 m. Se ha empleado también C.C.R. en el tramo Las Rozas- Villalba, en la construcción de 2.5 Km de una tercera vía en carril rápido, en dirección Madrid- La coruña. En esta última obra la decisión de utilizar C.C.R. se adoptó principalmente por se posibilidad de apertura inmediata al tráfico.

Puede estimarse que durante 1987 el C.C.R. se utilizó en 350,000 m² de carreteras principales.

En 1988, además de finalizarse algunas de las obras anteriores (tramo Villaverde-Seseña), se comenzó la obra que constituye hasta el momento la realización con C.C.R. más importante en España; la autovía entre Sevilla, Granada y Baza. Otras obras importantes en este año fueron la construcción de la Autopista del Atlántico de un tramo de la misma (0.4 Km) y de un vial de enlace (1 Km) con una carretera entre Guisamo y Santa María de Babio, en la Coruña.

En 1989, se realizaron obras como: la carretera en la provincia de Avila. La longitud de la obra es de 23 Km de calzada de dos carriles. En este año aparecieron instrucciones sobre secciones de firme, que sustituyen a las normas publicadas en 1975, así como a la instrucción sobre secciones de firme en autovías de 1986, la cual quedó englobada dentro de la nueva instrucción. Además de incluirse en esta última secciones estructurales con C.C.R. para todas las categorías de tráfico, se introdujeron algunas otras novedades importantes, como la obligatoriedad de disponer juntas transversales en el C.C.R.

Finalmente en 1990, se ha iniciado la pavimentación de la carretera de acceso al puerto de Málaga. Este conjunto de realizaciones a partir de 1984 se ha traducido en una superficie total pavimentada con C.C.R. superior a 1,500,000 m².

Puede estimarse que se han construido hasta el momento con este material más de 800 mil m² de carreteras principales. Lo que coloca a España en el primer puesto a nivel mundial en el empleo de dicha técnica en aeropistas y carreteras principales.

***Francia**

En Francia el desarrollo moderno de la técnica de C.C.R. se inicio, al igual que en España, en obras para tráficos poco importantes. A la vista de los buenos resultados obtenidos se fueron ampliando sus aplicaciones.

***Japón**

Un caso interesante de aplicación del C.C.R. lo constituye Japón. En este país los pavimentos de C.C.R. no fueron introducidos hasta 1988, en abril de 1990 se habían aplicado en más de 100 obras, con una superficie total superior a 200,000 m².

APLICACIONES EN MEXICO.

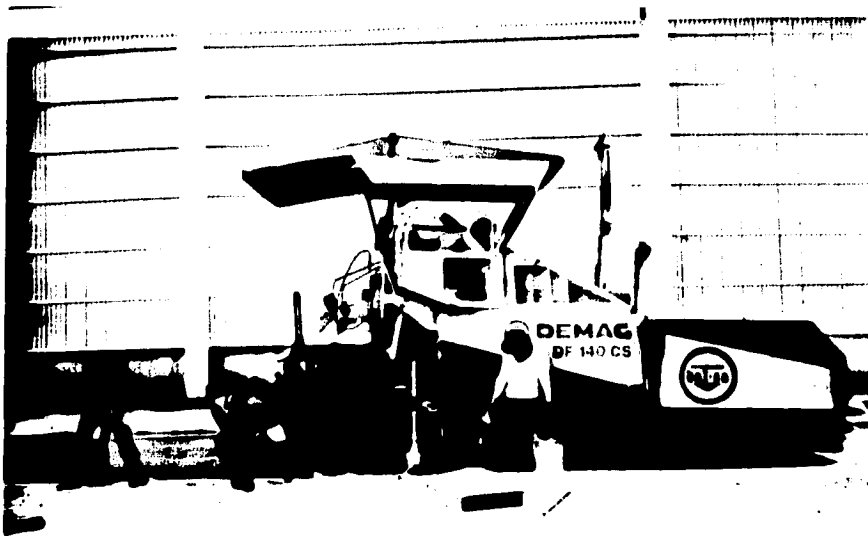
En México, el uso y aplicación del CCR se ha destinado a la construcción de presas; se tiene conocimiento que la C.F.E. ha utilizado C.C.R. para la construcción de la presa Aguamilpa.

Sin embargo este material no se había aplicado a la construcción de pavimentos de manera sistemática; solo se habían realizado por el sector comunicaciones y transportes esfuerzos aislados mediante tramos de prueba como el de la autopista Mexico - Cuernavaca donde se construyeron 500 m de tramo; este tramo de prueba fue realizado por el organismo Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos en colaboración con el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto y otras empresas.

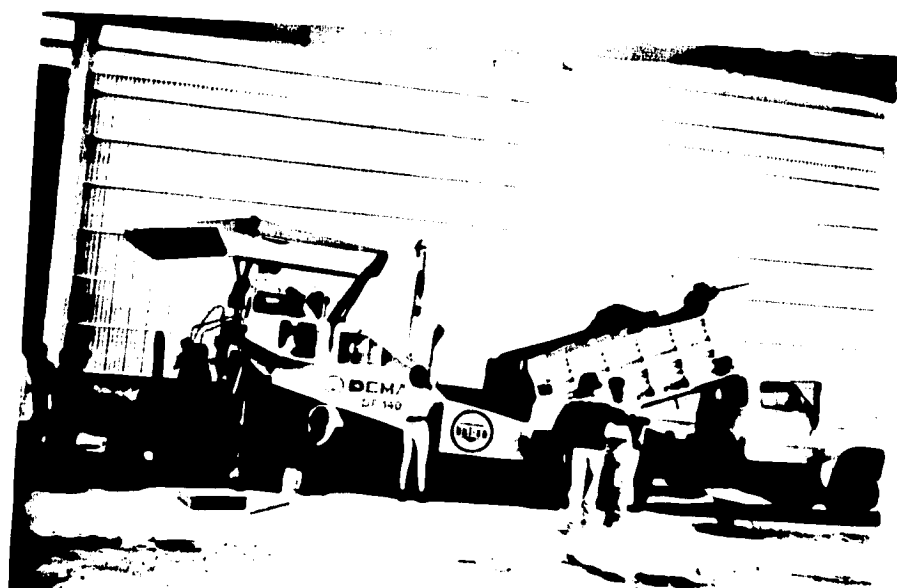
Fue hasta el año de 1994 cuando se construyó con concreto compactado con rodillos de manera más formal hablando de una superficie de 43,000 m² en los hangares del aeropuerto de Toluca, como se muestra en las fotografías.

También se construyó en el periodo 94-95 una avenida en Ecatepec esta con una superficie de 100,000 m² según aparece en las fotografías que se muestran.

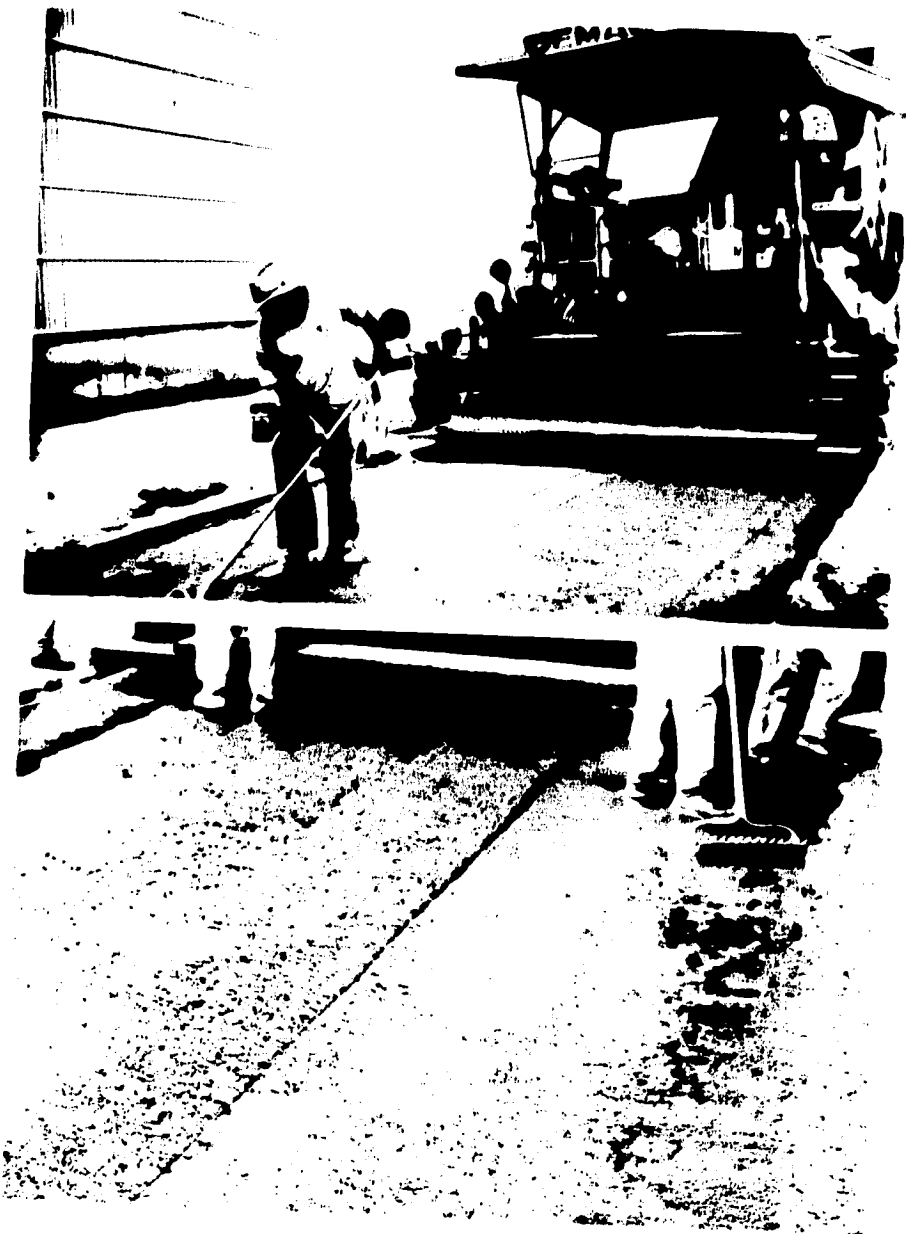
Dichas obras fueron realizadas por el Grupo Bal; y para su realización utilizaron como equipos de construcción una maquina especial extendedora-precompactadora. Estas obras nos reportan comportamientos excelentes del material además de resistencias y costos bastante competitivos con materiales como el concreto hidráulico.



En estas fotografías se muestra la construcción en los hangáres del aeropuerto de toluca; como se puede observar la pavimentadora que utilizaron para el tendido es un equipo especial o integral; conocido también como duotamp o vario-duotamp.



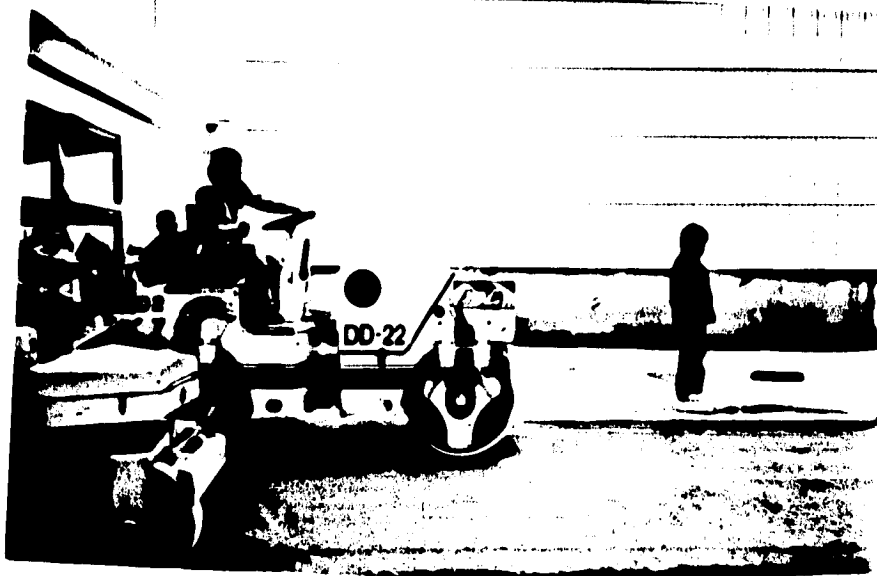
Como se observa el material es transportado por un camión de volteo con lona esto a fin de cubrir al concreto para protegerlo de la pérdida de humedad. La unión entre la junta fresca y la junta fría se realiza humedeciendo los contactos entre una y otra; como se muestra en la figura de abajo.



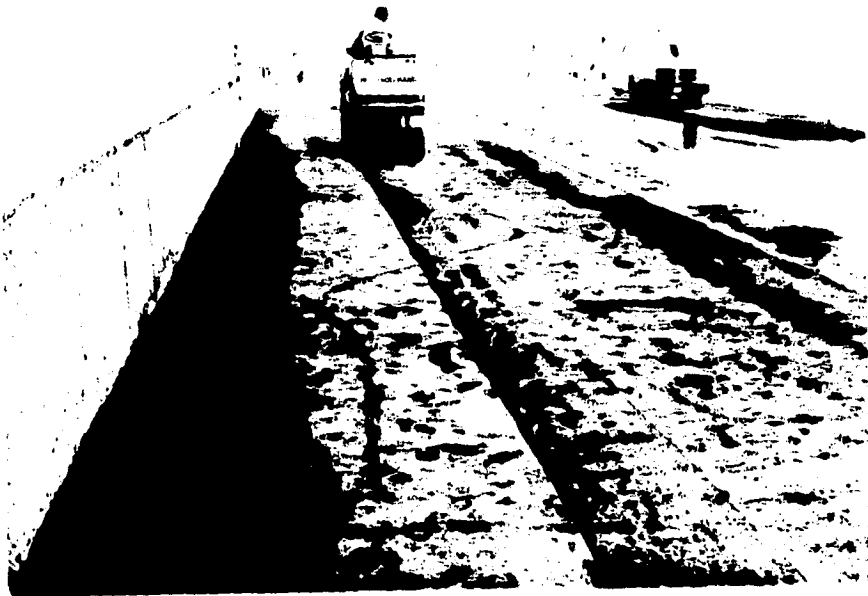
Podemos observar la superficie uniforme obtenida con la pavimentadora; la cuál consta de una unidad compactadora combinada permitiendo alcanzar en esta fase de la construcción hasta un 92% de la compactacion de proyecto en espesores de capa de 15 a 30 cm.



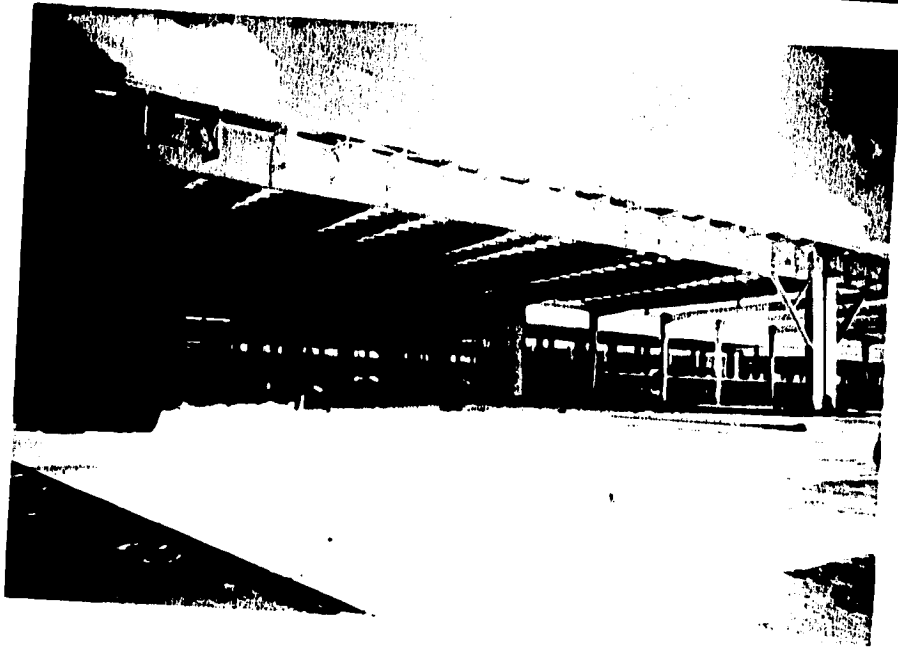
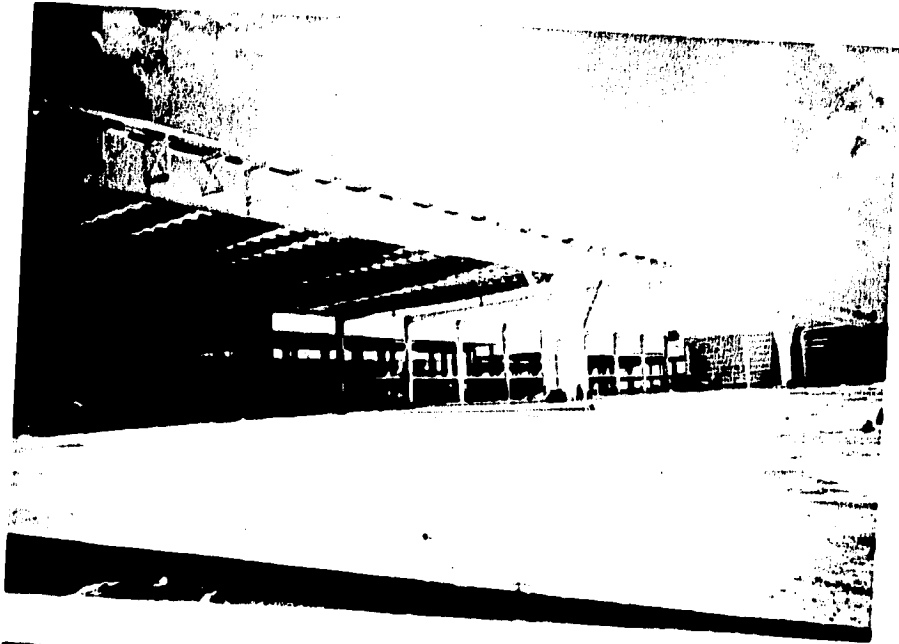
En estas fotografías se pueden mostrar a detalle la unidad compactadora integrada al equipo logrando un excelente y uniforme tendido de material.



Posteriormente al tendido del material se deben pasar los rodillos lisos estáticos y vibratorios; a fin de garantizar una densidad no menor al 97% de la Proctor Modificada. Durante la compactación se debe mantener húmeda la superficie mediante riego que contraresta la evaporación superficial.



Posteriormente a la compactación se otorga un acabado superficial al pavimento por medio de una pulidora giratoria o "helicoptero" en la terminología española. Esto a fin de otorga una textura más cerrada. Se recomienda también para este último fin utilizar agregados con tamaño máximo de 3/4".



Obra terminada de los hangares en el aeropuerto de toluca. Observese la uniformidad y textura obtenidas.



En estas fotografías podemos observar la pavimentación de calles en Ecatepec; antes y después notando uniforme y el acabado superficial del pavimento.



En esta fotografía se puede apreciar las pendientes de las calles que fueron pavimentadas.



Cabe resaltar que la pavimentadora utilizada en esta obra fue la misma que se utilizó para la construcción de los hangares en el aeropuerto de toluca.

1.2.- GENERALIDADES

Recientes investigaciones efectuadas en la Universidad de Purdue, señalan que el C.C.R. presenta en el laboratorio características de resistencia muy superior a las del concreto convencional.

Se ha observado en varios países como Australia, Canadá, Estados Unidos, España y otros más, que la técnica de Concreto Compactado con Rodillos (C.C.R.) se ha aplicado con éxito en la construcción de pavimentos, áreas de estacionamiento y patios de maniobras que cumplen con determinados requisitos de seguridad y calidad.

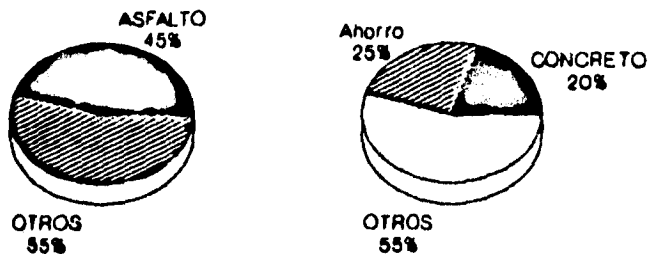
En México se han invertido en el periodo 1983-1987 más de seiscientos setenta mil millones de pesos (670 millones de nuevos pesos) para la reconstrucción y conservación, de los cuales el 70% para la red de carreteras nacionales y el 25% para los caminos rurales, por lo que es necesario implementar técnicas de diseño y construcción que permitan lograr mejores pavimentos.

De acuerdo con los proyectos de pavimentación realizados se ha obtenido que el C.C.R. ofrece ventajas económicas sobre otras alternativas de pavimentación, ya que el mantenimiento anual representa un porcentaje bajo de la inversión inicial, posee gran durabilidad, y es rápido de colocar utilizando el equipo de pavimentación tradicional.

En la actualidad existen dos materiales para construir carreteras, autopistas y pavimentos de zonas urbanas: por medio del clásico asfalto o por el C.C.R. En el caso de las carreteras, el asfalto representa el 45% del costo total de la carpeta de pavimentación, lo mismo sucede en la construcción de la base y de la sub-base; en cambio si se utiliza el C.C.R. el costo total se reduce entre un 50% y 75% ya que este tipo de insumo solo incide de 20 a 35 %, como puede apreciarse en la figura No 1.2.1. "Participación porcentual de los insumos de pavimentación". Asimismo, en el caso de las autopistas si se construye con este tipo de concreto el costo se reduce entre 10% y 25%. Una situación semejante se presenta al construir los pavimentos de zonas urbanas. Esos porcentajes pueden variar aun más si se toma en cuenta que la suma de las variaciones de los precios de asfalto de agosto de 1986 a marzo de 1989 fue del 220%, (sin incluir fletes), en comparación con la suma de concreto que registro 50 puntos porcentuales menos (en este caso se incluye el flete), como se muestra en la figura No 1.2.2. "Variación mensual acumulada de precios".

Debido a que en los Estados Unidos se han hecho más construcciones con las técnicas del C.C.R. en la figura No 1.2.3. "Precios de pavimentación en los Estados Unidos" se puede apreciar que los costos del asfalto son más elevados que cuando se usa concreto tipo C.C.R.. Además de que los resultados obtenidos tanto en el periodo de construcción como en el mantenimiento han sido satisfactorios. También se debe de mencionar que las presas que se construyeron en ese país con C.C.R. costaron 50% menos que si hubieran sido de enrocamiento o 33% menos que si se hubiera utilizado concreto convencional.

PARTICIPACION PORCENTUAL DE LOS INSUMOS DE PAVIMENTACION



Fuente: Elaborado por el IMCYC con datos de CNIC

Fig. 1.2.1

VARIACION MENSUAL ACUMULADA DE PRECIOS

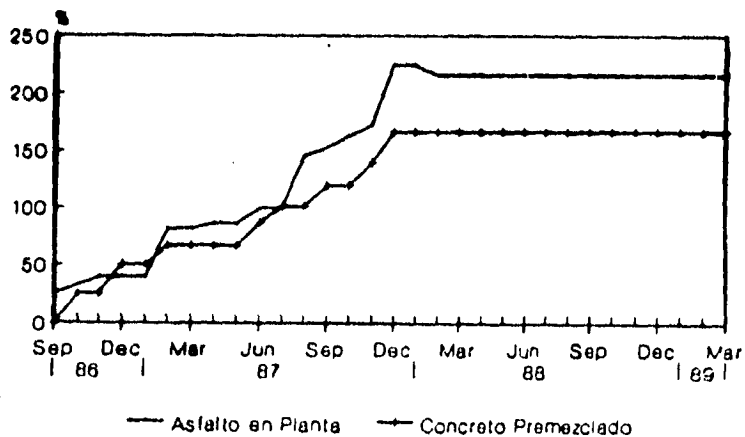
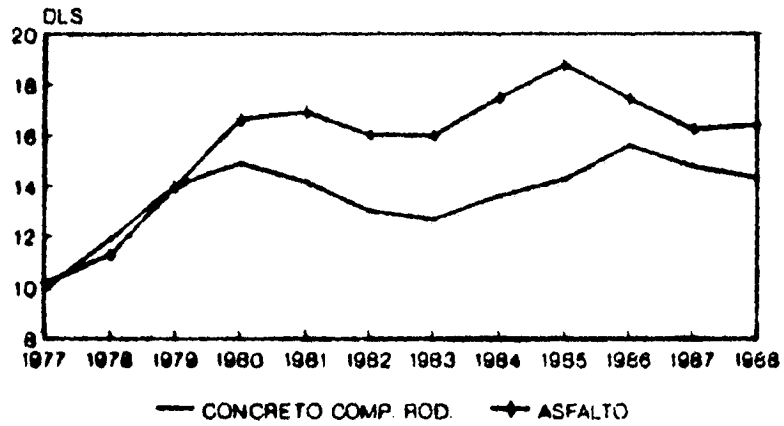


Fig. 1.2.2

PRECIOS DE PAVIMENTOS EN LOS ESTADOS UNIDOS (DOLARES POR YARDA CUADRADA)



FUENTE. Elaborado por el IMCYC
con datos de la FHWA

Fig. 1.2.3

1.3.- OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TESIS.

En la actualidad se cuenta con escasa información oficial o bien normas por medio de las cuales se pueda conocer el comportamiento, las normas de calidad, la resistencia y construcción a las que debe sujetarse el concreto compactado con rodillos con el fin de delimitar su alcance preciso como material dentro de la construcción para superficies de rodamiento en pavimentos. Se hacen esfuerzos con investigaciones y estudios, tanto en laboratorio como en campo; que puedan llegar a determinar los alcances y empleos que se le dan al CCR y de gran parte de estos estudios se han obtenido resultados con respecto al comportamiento que tiene este material como superficie de rodamiento.

En esta época con la entrada del tratado de libre comercio surgirá un considerable desarrollo en comunicaciones terrestres teniendo entonces la necesidad de crear carreteras que proporcionen a los usuarios un tránsito seguro, comodo y económico lo que se traduce en construir pavimentos que tengan las características de resistencia y deformación para el tránsito que se produce, que se minimicen además; los costos de conservación y operación, aunque se incrementen los de construcción.

El objetivo de este trabajo consiste en recopilar en la República Mexicana la información que se tiene al alcance tanto de investigación como de práctica del CCR, que nos fundamente las ventajas de su aplicación en laboratorio y en campo, como una opción más, para el uso en la construcción de pavimentos. También se muestran

nuevas tecnologías de construcción, que a través del tiempo se han ido mejorando.

La aportación práctica de este trabajo consistió en realizar mezclas de CCR, con cuatro materiales diferentes preparados en el laboratorio con el fin de comparar sus características de resistencia a la compresión, tensión y flexión de estos materiales.

El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de la Dirección de Proyectos Servicios Técnicos y Concesiones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

También se hizo en el laboratorio un estudio comparativo entre los proporcionamientos de mezclas de CCR y concreto hidráulico convencional y las características de resistencia que reportaron, para ello se elaboraron mezclas con el agregado de río, parcialmente triturado y lavado; este material se utilizó por razones de calidad superior a los otros tres materiales analizados y descritos en el capítulo 2.

Posteriormente, con los resultados de resistencia a los 7 y 28 días de el C.C.R. y del Concreto hidráulico se realizó el diseño de la estructura de un pavimento empleando el módulo de resistencia a la flexión de ambos materiales esto a fin de comparar espesores entre una y otra alternativa.

1.4.- DEFINICION DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS.

De acuerdo con el comité 207 del Instituto Americano del Concreto (ACI), el concreto compactado con rodillos (CCR) es un concreto con revenimiento cero, el cual se consolida por vibración externa utilizando compactadores de rodillos vibratorios. Difiere del concreto convencional principalmente en la consistencia requerida. Para su consolidación efectiva el CCR debe estar suficientemente seco para soportar el paso del equipo de compactación, y suficientemente húmedo para permitir la distribución adecuada de la pasta ligante durante los procesos de mezclado y vibración. La relación agua cemento debe ser menor de 0.4 en cambio la del concreto hidráulico debe ser superior a 0.45

El concepto de C.C.R. se ha modificado gradualmente y se acepta que existen varios tipos:

C.C.R. pobre; para presas o rolacreto, con un contenido de cementante menor de 100 kg/m³, del cual las puzolanas de la clase F (bajo contenido de cal), se encuentra en una proporción mayor al 40%. Por lo general se coloca en capas de 30 cm. y en ocasiones tiene una alta proporción de finos inertes.

C.R.P. o concreto rodillado para presas, que se coloca en capas de 50 a 100 cm con un contenido de cementante de 120 a 130 kg/m³, del cual las puzolanas corresponden a un 20-35%.

C.C.R. con cementante medio para presas, que se coloca en capas de 30 cm, y contenidos de cementante entre 100 y 150 kg/m³.

C.C.R. rico en cementante para presas, con un contenido de aire muy bajo y una buena adherencia entre capas sin tratamiento especial, que se coloca en espesores del orden de 30 cm, con un contenido de cementante superior a 150 kg/m³, del cual las puzolanas representan el 60-80%.

C.C.R.P. o concreto rodillado para pavimentos, que por lo común se fabrica con la granulometría semejante a la de concretos asfálticos, se coloca en capas de 15 cm, con contenido de cementante mayores a 250 kg/m³, y las puzolanas corresponden al 30% o menos del cementante.

El tamaño máximo de agregado en presas es por lo general de 76.2 mm, aunque se ha utilizado hasta 150 mm, y la tendencia es emplear tamaño inferior a 50 mm, para reducir la segregación del material y el punteo de los tamaños mayores en la parte inferior de las capas. En pavimentos el tamaño máximo para carpetas es de 19.1mm, y en general se utiliza del orden de 55% de material menor a la malla 4 (4.76mm), para proporcionar una adecuada superficie de rodamiento.

Ventajas en el uso de Concreto Compactado con Rodillos.

- 1.- Se puede producir con el equipo convencional para la elaboración del concreto hidráulico.**
- 2.- La colocación se puede hacer con extendedoras diseñadas para ello, con los equipos de construcción de carreteras, como motoniveladoras, compactadoras neumáticas o de rodillos metálicos.**
- 3.- Las características estructurales del C.C.R. son similares a las del concreto convencional, por lo que no se requiere desarrollar nuevos métodos de diseño para obtener el espesor de los pavimentos.**
- 4.- El contenido de agua es bajo, apenas el suficiente para que la hidratación del cemento se dé, por lo que la consistencia del concreto es áspera y su capacidad de soporte es alta lo que hace que el pavimento pueda dar servicio inmediatamente después de que se alcance la compactación recomendada.**
- 5.- Debido a que la resistencia exigida en el C.C.R. es similar a la del concreto convencional y a que su relación agua-cemento es más baja, el contenido de cemento para lograr dicha resistencia puede ser menor.**
- 6.- También debido a que el contenido de agua es bajo, la retracción es menor, por lo que las juntas de contracción están más espaciadas, entre 15 y 18 metros.**
- 7.- La dosificación del concreto seco admite cementos con altos contenidos de adiciones, debido a que la mayoría de los controles se hacen a los 90 días y no a los 28, en comparación con la pavimentación con asfalto.**
- 8.- El concreto está presentando un índice de inflación más bajo que el asfalto.**
- 9.- Costo del flete incluido en el precio del concreto y no así para el asfalto.**

Desventajas en el uso de Concreto Compactado con Rodillos.

- 1.- **El acabado superficial de los concretos secos es de menor calidad que el de los concretos convencionales, generando pavimentos más rugosos y menos confortables. Aunque este aspecto se puede anular; ya que actualmente se este aplicando un método que consiste en pulir la superficie una vez terminada la compactación; esto nos permite evitar el gasto económico que representa la capa de asfalto y que en comparación con el costo de la pulidora o "helicoptero" resulta ser mucho mas elevado además de requerirse de mas tiempo.**

- 2.- **Para vías de trabajo veloz debido a la primera desventaja anotada, se puede necesitar de una capa de material asfáltico, para darle una mejor superficie de rodamiento. Actualmente como se mencionó en el punto anterior se puede considerar que las desventajas son casi nulas o nulas.**

CAPITULO 2

NORMAS DE CALIDAD Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES A EMPLEAR

En este capítulo se darán a conocer los resultados de calidad que se obtuvieron en el laboratorio, de todos los materiales que se utilizarón para realizar mezclas de CCR.; así como las normas aplicadas para la valoración de los mismos.

El objetivo de este capítulo es conocer las Normas de Calidad y Resistencia que se usen a la fecha; que son las del concreto hidráulico convencional y en base a las mismas determinar la calidad de materiales utilizados en las mezclas de CCR. para de esta forma, garantizar que se tendrán las propiedades mecánicas requeridas en el concreto ya que la selección de agregados y su control de granulometría son un factor importante que influye en la calidad y propiedades del CCR; así como la calidad del agua y el tipo de cemento repercuten en la resistencia que pueda llegar a adquirir la mezcla.

2.1.- AGUA

Como en el concreto convencional, se requiere para la fabricación de Concreto Compactado con Rodillos CCR, que el agua este limpia y libre de materias perjudiciales, tales como aceite, grasas, sales; etc...

La mezcla deberá contener entre un 4 a 6% de volumen o peso del agua respecto al peso total del concreto, a fin de proporcionar la hidratación necesaria y suficiente para el cemento además de que cubra y móje a los agregados pétreos.

2.2.- AGREGADOS.

La calidad de los agregados pétreos en cuanto a su composición química, reacción con el cemento y durabilidad tienen las mismas especificaciones en el Concreto Compactado con Rodillos CCR, que en el concreto hidráulico convencional.

Se pueden emplear tanto agregados triturados como de río. Al emplearse agregados triturados se aumenta la capacidad de carga de la capa antes de fraguar el cemento, de manera que en algunos lugares se permite la circulación del tránsito inmediatamente después de la construcción del pavimento.

Los españoles consideran necesario incluir al menos dos terceras partes de agregado pétreo de trituración, para obtener capacidad de soporte inicial adecuada. Lo anterior es recomendado cuando se piensa abrir el camino al tránsito inmediatamente después de la construcción.

En lo que se refiere al tamaño máximo de agregado, en los primeros trabajos realizados con esta técnica de construcción, el tamaño máximo empleado fue de 1.5". Sin embargo se encontró que con ese tamaño máximo la superficie de rodamiento quedaba con demasiadas protuberancias, por lo que se disminuyó a 3/4"; que es la recomendación que actualmente se emplea. Aunque también se ha llegado a reportar el empleo de tamaño máximo de 5/8"; esto a fin de mejorar la calidad de rodamiento y de obtener una textura más cerrada; aunque los resultados no mejoraron de manera significativa con respecto a los obtenidos con tamaños máximos de 3/4" la textura resultó ser más cerrada.

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USCE) experimentó inicialmente con los límites granulométricos establecidos por la norma ASTM C-33 para los agregados pétreos empleados en el concreto convencional; sin embargo han encontrado que pueden dar mejor resultado las granulometrías establecidas para concreto asfáltico. Estos agregados son bien graduados, con 5 a 10 por ciento de finos; y se considera que esta cantidad de finos es adecuada cuando no se trata de finos plásticos.

Los requerimientos de granulometría del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USCE) para CCR se muestra en la tabla siguiente:

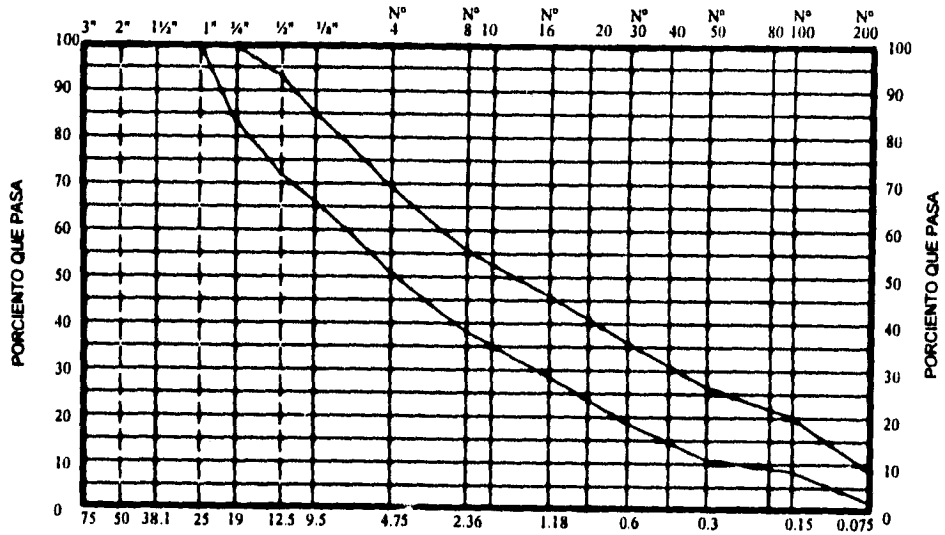
Tamaño de malla	Porcentaje acumulado que pasa
1 pulgada	100
3/4 pulgada	83-100
1/2 pulgada	72-93
3/8 pulgada	66-85
No 4	51-69
No 8	38-56
No 16	28-46
No 30	18-36
No 50	11-27
No 100	8-20
No 200	2-8

Cabe mencionar que el análisis granulométrico realizado a los agregados pétreos empleados en la elaboración de mezclas de concreto compactado con rodillos CCR, realizadas en este trabajo, se hicieron en base a las especificaciones de el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USCE).

También en este capítulo se dan a conocer los requerimientos granulométricos empleados por las Normas Españolas, que a pesar de no haber basado el análisis granulométrico de este trabajo se reconoce como empleo oficial para la determinación granulométrica en este tipo de materiales.

CROQUIS DE LOS LIMITES GRANULOMETRICOS DE ACUERDO A LA (USCE)

CUERPO DE INGENEROS DE LOS ESTADOS UNIDOS



Los requerimientos de granulometría combinada de acuerdo con las Normas Españolas se muestran en la siguiente tabla:

Tamaño de malla	por ciento que pasa la malla	
	Tamaño máximo 16 mm	Tamaño máximo 20 mm
25 mm	—	100
20 mm	88-100	75-100
16 mm	70-87	60-83
10 mm	50-70	42-63
5 mm	35-50	30-47
80 μ m	18-30	16-27
400 μ m	10-20	9-19

En la tabla anterior, de la práctica española, esta considerada la cantidad de aglutinante de la mezcla (cemento portland). Esa es la razón de que aparezcan mayores cantidades de finos que los recomendados en la práctica americana.

Una de las mayores diferencias con la práctica usual, de el concreto vibrado, es el mayor porcentaje permisible de finos inertes, esto se debe a la mejor compactabilidad de las mezclas con finos; sin embargo, dentro de lo posible, conviene elegir la menor cantidad posible de dichos finos.

El American Concrete Institute establece la cantidad de finos permisible, en función de los límites líquido y plástico de éstos, esto se muestra en la tabla siguiente:

Límite líquido	Índice Plástico	% que pasa la malla 200
0-25	0-5	10.00
0-25	5-10	9.00
0-25	10-15	4.00
0-25	15-20	3.00
0-25	20-25	1.50
25-35	0-5	9.00
25-35	5-10	8.00
25-35	10-15	6.50
25-35	15-20	5.00
25-35	20-25	1.50
35-45	0-5	8.50
35-45	5-10	5.50
35-45	10-15	4.00
35-45	15-20	2.00
35-45	20-25	1.50
45-55	0-5	5.50
45-55	5-10	5.00
45-55	10-15	3.50
45-55	15-20	3.00
45-55	20-25	1.50

La cantidad permisible de finos que pasan la malla No 200 depende de la plasticidad de todos los finos que pasan la malla No 40, en una muestra lavada (ASTM D-4318).

Para la realización de las mezclas de concreto compactado con rodillos se fijó que los agregados a utilizar cumplieran con las normas de calidad requeridas para agregados que se emplean en concreto hidráulico convencional.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-C-111-1992 se especifican los siguientes límites máximos y mínimos de requisitos físicos de calidad de los agregados.

AGREGADO FINO.

Absorción	1-2%
equivalente de arena	50 min
Intemperismo acelerado	10 max

AGREGADO GRUESO.

Absorción	1-2%
Intemperismo acelerado	12% max
Abrasión	50% max

2.3.- CEMENTO.

El cemento Portland se clasifica en los siguientes tipos:

Tipo I.- Para usarse en construcciones de concreto en general, cuando no se requieran las propiedades especiales señaladas para los tipos II, III, IV y V.

Tipo II.- Para usarse en construcciones de concreto expuestas a la acción moderada de sulfatos o cuando se requiera generación moderada de calor de hidratación.

Tipo III.- Para usarse en construcciones de concreto cuando se requiera alta resistencia a corte edad.

Tipo IV.- Para usarse en construcciones de concreto cuando se requiera bajo calor de hidratación.

CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO TIPO (IP).

El Cemento Portland Puzolánico Tipo IP es una mezcla de cemento Portland y material puzolánico molido finamente; dicha mezcla puede obtenerse moliendo clinker de cemento de algunos de los tipos citados, junto con el material puzolánico fino o bien mediante el mezclado uniforme del cemento con la puzolana fina.

Además se encontró la siguiente información respecto al uso de cemento:

1.- El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USCE) reporta en la construcción de pavimentos con concreto compactado con rodillos el empleo de cemento portland tipo I, tipo II y puzolánico.

2.- Al aumentar el contenido de puzolana baja el calor de hidratación inicial, significando menor contracción por tanto menor distancia entre grietas de contracción.

3.- En España se han llegado a emplear contenidos de puzolana del orden de 50% de ligante. El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USCE) recomienda el empleo de puzolana en una proporción del 25% al 40%, en relación al total de material cementante. En ambos casos se han obtenido buenos resultados.

4.- El comite del ACI afirma que cuando no se emplea puzolana el agregado fino que pasa la malla N0. 100 se puede incrementar en un 5%, respecto a lo usual en el concreto convencional, con el objetivo de mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Para este trabajo por razones de disponibilidad el cemento tipo Portland utilizado en la elaboración de mezclas de concreto compactado con rodillos CCR, fue del tipo II (el más comercial empleado en el mercado) y Puzolánico; se fijó que cumplieran con las especificaciones que señalan las normas de la S.C.T. para concreto hidráulico o convencional; dichos requisitos físicos y químicos se mencionan en las tablas 2.3.1a. y 2.3.2a. respectivamente.

REQUISITOS FISICOS DEL CEMENTO TIPO PORTLAND

PRUEBAS FISICAS		CLASIFICACION	
		TIPO I	TIPO II
Finura, superficie específica, cm ² /g por el método de la Prueba de permeabilidad del aire con el aparato de Blaine			
Valor promedio, mínimo		2800	2800
Valor mínimo en cualquier muestra		2600	2600
Peso específico, g/cm ³			
Sanidad:	Expansión en autoclave, máximo, por ciento	0,8	0,8
	Contracción en autoclave, máximo, por ciento	0,8	0,8
Tiempo de fraguado por el método Vicat:			
Fraguado en minutos, no menos de:		45	45
Fraguado final en horas, no más de:		8	8
Resistencia a la compresión de cubos de mortero cemento-arena graduada 1:2.75, kg/cm ²			
A la edad de 3 días. mín.		85	70
A la edad de 7 días. mín.		150	130
A la edad de 28 días. mín.		245	245
Resistencia a la tensión de briquetas de mortero cemento-arena graduada 1:2.75, kg/cm ²			
A la edad de 3 días. mín.		10	9
A la edad de 7 días. mín.		19	18
A la edad de 28 días. mín.		25	23

REQUISITOS QUIMICOS DEL CEMENTO TIPO PORTLAND

PRUEBAS QUIMICAS	CLASIFICACION	
	TIPO I	TIPO II
Oxido de magnesio (MgO), máximo, por ciento	5.00	5.00
Trióxido de azufre (SO ₃), máximo, por ciento	2.50	2.50
Pérdida de calcinación, máximo, por ciento	3.00	3.00
Residuo insoluble, máximo, por ciento	0.75	0.75
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	6.00	

TABLA 2.3.1a

REQUISITOS FISICOS DEL CEMENTO PUZOLANICO

PRUEBAS FISICAS		CLASIFICACION PUZOLANICO
Finura, superficie específica, cm ² /g por el método de la Prueba de permeabilidad del aire con el aparato de Blaine		
Valor promedio, mínimo		2800
Valor mínimo en cualquier muestra		2800
Peso específico, g/cm ³		
Sanidad:	Expansión en autoclave, máximo, por ciento	0,5
	Contracción en autoclave, máximo, por ciento	0,5
Tiempo de fraguado por el método Vicat:		
Fraguado en minutos, no menos de:		45
Fraguado final en horas, no más de:		7
Resistencia a la compresión de cubos de mortero cemento-arena graduada 1:2.75, kg/cm ²		
A la edad de 3 días. min.		85
A la edad de 7 días. min.		150
A la edad de 28 días. min.		245

REQUISITOS QUIMICOS DEL CEMENTO PUZOLANICO

PRUEBAS QUIMICAS		CLASIFICACION PUZOLANICO
Oxido de magnesio (MgO), máximo, por ciento		5.0
Trióxido de azufre (SO ₃), máximo, por ciento		4.0
Pérdida de calcinación, máximo, por ciento		5.0
Residuo insoluble, máximo, por ciento		
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)		

TABLA 2.3.2a

2.4.- ADITIVOS.

Son todos los materiales que se usan para modificar algunas de las características del concreto los tipos de aditivo existentes son:

Tipo A. Aditivos reductores de agua. Son los que permiten:

- 1.-Incrementar la resistencia al reducir la relación agua-cemento, conservando la consistencia.
- 2.-Aumentar la trabajabilidad para una resistencia dada.

Tipo B. Aditivos retardantes de fraguado. Son los que retardan el fraguado mayor resistencia del concreto.

Tipo C. Aditivos acelerantes de fraguado. Son los que aceleran el fraguado y permiten obtener mayor resistencia.

Tipo D. Aditivos reductores de agua y retardantes de fraguado.

Tipo E. Aditivos reductores de agua y acelerantes de fraguado.

Tipo F. Aditivos reductores de agua con acción más elevada. Estos proporcionan una reducción mayor de agua que la producida por A.

Tipo G. Aditivo reductor de agua de acción elevada y retardante. Son los que

proporcionan una reducción mayor de agua que la del tipo D.

Debido a que el concreto compactado con rodillos CCR, tiene una trabajabilidad muy baja y pierde su manejabilidad conforme avanza el fraguado se han empleado aditivos para retardar el fraguado del concreto, de manera que se cuente con el tiempo suficiente para el transporte, extendido y compactación adecuada de la mezcla. También es importante para tener el menor número posible de juntas de construcción "frías". Los tipos de aditivo más utilizados para mezclas de CCR son los A, B, y D.

En el proporcionamiento de mezclas realizado en este trabajo solo a la mezcla con material NO. 4 se le dosificó aditivo tipo D. Los resultados se notaron tanto en la trabajabilidad como en la resistencia.

2.5.-RESULTADOS DE RESISTENCIA Y CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS PARA LA ELABORACION DE MEZCLAS DE CCR Y CONCRETO CONVENCIONAL

Es necesario mencionar que algunos materiales tuvieron un tratamiento previo en el laboratorio tal como lavado y triturado de los mismos a fin de obtener una calidad que cumpliera con las especificaciones que señalan la S.C.T. y las N.O.M como se menciona en páginas anteriores.

De los agregados utilizados para la realización de mezclas de CCR se encuentran los siguientes: Material NO.1 Agregado de río. Material NO.2 Caliza. Material NO.3 Tezontle. Material NO.4 Andesita.

El agregado utilizado para la elaboración tanto de mezclas de CCR como de concreto hidráulico convencional fue el: Material NO.1 Agregado de río.

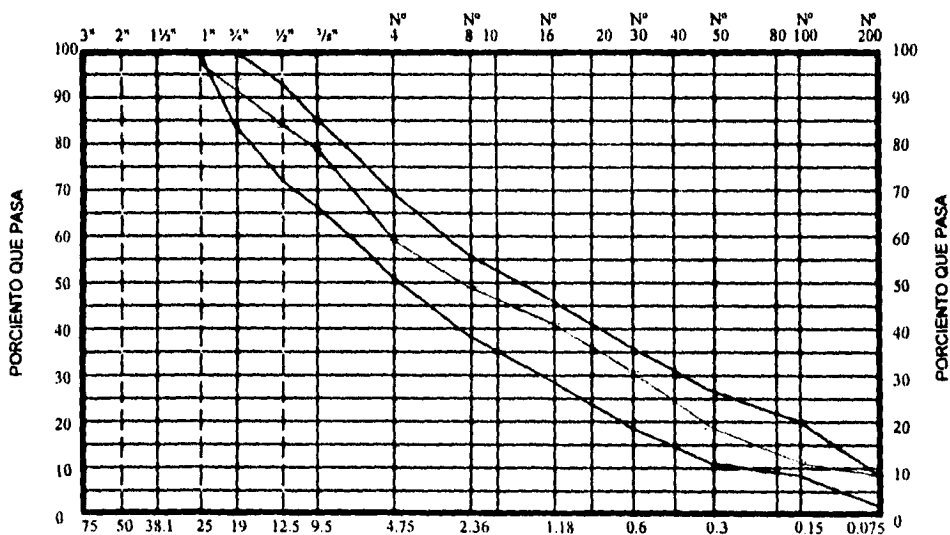
**RESULTADOS DE CALIDAD OBTENIDOS EN EL LABORATORIO
PARA MATERIAL NO. 1 (AGREGADOS DE RIO)**

ARENA DE RIO		
PESO ESPECIFICO	2.53 g/cm ³	
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO	1,558 kg/cm ²	
PESO VOLUMETRICO SECO COMPACTO	1,729 kg/cm ²	
% DE ABSORCION	1,70%	
EQUIVALENTE DE ARENA	98%	
GRANULOMETRIA	se anexa gráfica	
MODULO DE FINURA	2.35	
INTEMPERISMO ACELERADO	4,58%	
GRAVA DE RIO		
PESO ESPECIFICO	2.6 g/cm ³	
PESO VOLUMETRICO SUELTO	1,508 kg/cm ²	
PESO VOLUMETRICO COMPACTO	1,717 kg/cm ²	
% DE ABSORCION	0,50%	
GRANULOMETRIA	se anexa gráfica	
INTEMPERISMO ACELERADO	4,58%	
DESGASTE DE LOS ANGELES	15,80%	
CEMENTO PUZOLANICO		
PESO ESPECIFICO	2.95 g/cm ³	
PERMEABILIDAD AL AIRE, APARATO DE BLAINE	4271 cm ² /g	
SANIDAD:	EXPANSION EN AUTO CLAVE	0,03
	CONTRACCION EN AUTOCLAVE	-
TIEMPO DE FRAGUADO (VICAT)	150 min.	
RESISTENCIA A LA COMPRESION	3 DIAS	189 kg/cm ²
	7 DIAS	237 kg/cm ²
	28 DIAS	321 kg/cm ²
OXIDO DE MAGNESIO (MgO)	2,75%	
OXIDO FERRICO (Fe ₂ O ₃)	2,58%	
PERDIDA POR CALCINACION	1,48%	
RESIDUO INSOLUBLE	16,22%	
TRIOXIDO DE AZUFRE (SO ₃)	2,54%	

**LIMITES EN LA GRANULOMETRIA DE ARENAS Y GRAVAS PARA C.C.R.
MATERIAL NO. 1 AGREGADO DE RIO**

mallas		Peso (kg)	Material retenido % en peso	% que pasa en peso	Especificación
plg	mm				
1"	25.00	0.200	1.40	98.6	100
¾"	19.00	0.615	4.30	94.3	83-100
½"	12.50	1.505	10.60	83.7	72-93
¼"	9.50	0.895	6.30	77.4	66-85
Nº4	4.75	2.590	18.20	59.2	51-69
Nº8	2.36	1.495	10.50	48.7	38-56
Nº16	1.18	1.055	7.40	41.3	28-46
Nº30	0.60	1.535	10.80	30.5	18-36
Nº50	0.30	1.665	11.70	18.8	11-27
Nº100	0.15	1.015	7.10	11.7	8-20
Nº200	0.075	0.485	3.40	8.3	2-8

CHAROLA 1.180 8.30



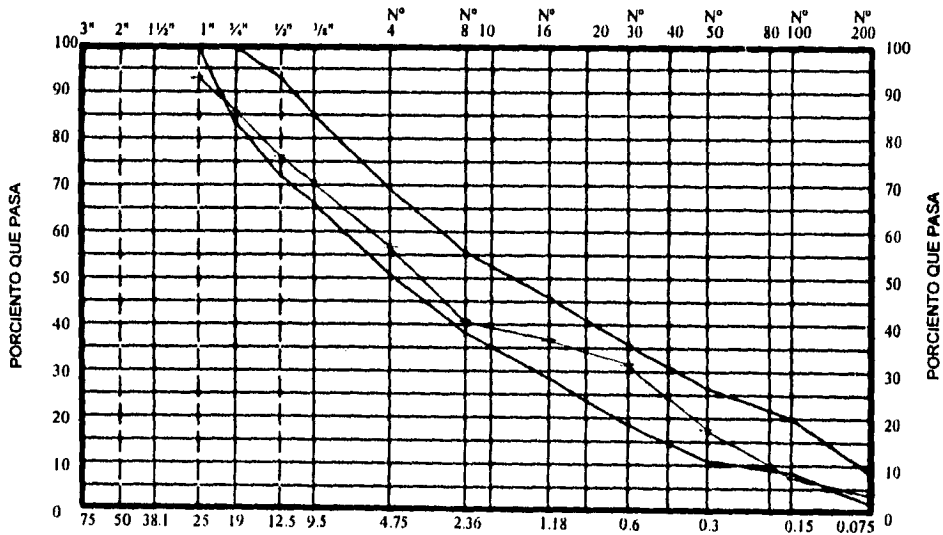
**RESULTADOS DE CALIDAD OBTENIDOS EN EL LABORATORIO
PARA MATERIAL NO. 2 (CALIZA)**

ARENA		
PESO ESPECIFICO		2.4 g/cm ³
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO		1,490 kg/m ³
PESO VOLUMETRICO SECO COMPACTO		1,611 kg/m ³
% DE ABSORCION		2,1
EQUIVALENTE DE ARENA		96%
GRANULOMETRIA		se anexa gráfica
MODULO DE FINURA		2.6
INTEMPERISMO ACELERADO		5.60%
GRAVA		
PESO ESPECIFICO		2.6 g/cm ³
PESO VOLUMETRICO SUELTO		1332 kg/m ³
PESO VOLUMETRICO COMPACTO		1556 kg/m ³
% DE ABSORCION		0,7
GRANULOMETRIA		se anexa gráfica
INTEMPERISMO ACELERADO		5,60%
DESGASTE DE LOS ANGELES		26%
CEMENTO PUZOLANICO		
PESO ESPECIFICO		3.05 g/cm ³
PERMEABILIDAD AL AIRE, APARATO DE BLAINE		4101 cm ² /g
SANIDAD:	EXPANSION EN AUTO CLAVE	0.02%
	CONTRACCION EN AUTOCLAVE	-
TIEMPO DE FRAGUADO (VICAT)		150 min
RESISTENCIA A LA COMPRESION	3 DIAS	197 kg/cm ²
	7 DIAS	256 kg/cm ²
	28 DIAS	327 kg/cm ²
OXIDO DE MAGNESIO (MgO)		2.10 %
OXIDO FERRICO (Fe ₂ O ₃)		2.80%
PERDIDA POR CALCINACION		1.42%
RESIDUO INSOLUBLE		18.26%
TRIOXIDO DE AZUFRE (SO ₃)		3.21%

**LIMITES EN LA GRANULOMETRIA DE ARENAS Y GRAVAS PARA C.C.R.
MATERIAL NO. 2 CALIZA.**

mallas		Peso (kg)	Material retenido % en peso	% que pasa en peso	Especificación
plg	mm				
1"	25.00	0.870	6.8	93.2	100
¾"	19.00	1.010	7.9	85.3	83-100
½"	12.50	1.200	9.4	75.9	72-93
⅜"	9.50	0.725	5.7	70.2	66-85
Nº4	4.75	1.700	13.3	56.9	51-69
Nº8	2.36	2.095	16.4	40.5	38-56
Nº16	1.18	0.470	3.7	36.8	28-46
Nº30	0.60	0.715	5.6	31.2	18-36
Nº50	0.30	1.725	13.5	17.7	11-27
Nº100	0.15	1.360	10.6	7.1	18-20
Nº200	0.075	0.375	2.9	4.2	2-8

CHAROLA 0.535 4.2



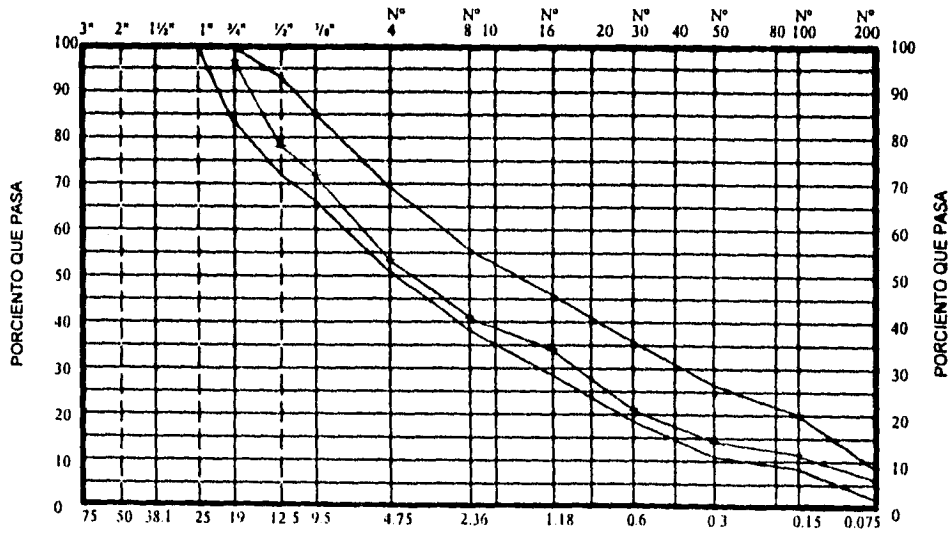
**RESULTADOS DE CALIDAD OBTENIDOS EN EL LABORATORIO
PARA MATERIAL NO. 3 (TEZONTLE)**

ARENA		
PESO ESPECIFICO		1.67 g/cm ³
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO		1130 kg/cm ²
PESO VOLUMETRICO SECO COMPACTO		1338 kg/cm ²
% DE ABSORCION		13,28%
EQUIVALENTE DE ARENA		
GRANULOMETRIA		se anexa gráfica
MODULO DE FINURA		3.21
INTEMPERISMO ACELERADO		
GRAVA		
PESO ESPECIFICO		1.92 g/cm ³
PESO VOLUMETRICO SUELTO		983 kg/cm ²
PESO VOLUMETRICO COMPACTO		1091 kg/cm ²
% DE ABSORCION		13,40%
GRANULOMETRIA		se anexa gráfica
INTEMPERISMO ACELERADO		-
DESGASTE DE LOS ANGELES		-
CEMENTO		
PESO ESPECIFICO		2.88 g/cm ³
PERMEABILIDAD AL AIRE APARATO DE BLAINE		4304 cm ² /g
SANIDAD:	EXPANSION EN AUTO CLAVE	0,05%
	CONTRACCION EN AUTOCLAVE	-
TIEMPO DE FRAGUADO (VICAT)		135 min
RESISTENCIA A LA COMPRESION	3 DIAS	185 kg/cm ²
	7 DIAS	237 kg/cm ²
	28 DIAS	304 kg/cm ²
OXIDO DE MAGNESIO (MgO)		1,00%
OXIDO FERRICO (Fe ₂ O ₃)		2,40%
PERDIDA POR CALCINACION		2,70%
RESIDUO INSOLUBLE		12,83%
TRIOXIDO DE AZUFRE (SO ₃)		2,83%

**LIMITES EN LA GRANULOMETRIA DE ARENAS Y GRAVAS PARA C.C.R.
MATERIAL NO. 3 TEZONTLE**

mallas		Peso (kg)	Material retenido % en peso	% que pasa en peso	Especificación
plg	mm				
1"	25.00				100
¾"	19.00	0.315	3.3	96.7	83-100
½"	12.50	1.760	18.4	78.3	72-93
¼"	9.50	0.610	6.4	71.9	66-85
Nº4	4.75	1.795	18.7	53.2	51-69
Nº8	2.36	1.180	12.3	40.8	38-56
Nº16	1.18	0.615	6.4	34.5	28-46
Nº30	0.60	1.270	3.3	21.2	18-36
Nº50	0.30	0.630	6.6	14.6	11-27
Nº100	0.15	0.275	2.9	11.7	8-20
Nº200	0.075	0.485	5.1	6.6	2-8

CHAROLA 0.630 6.6



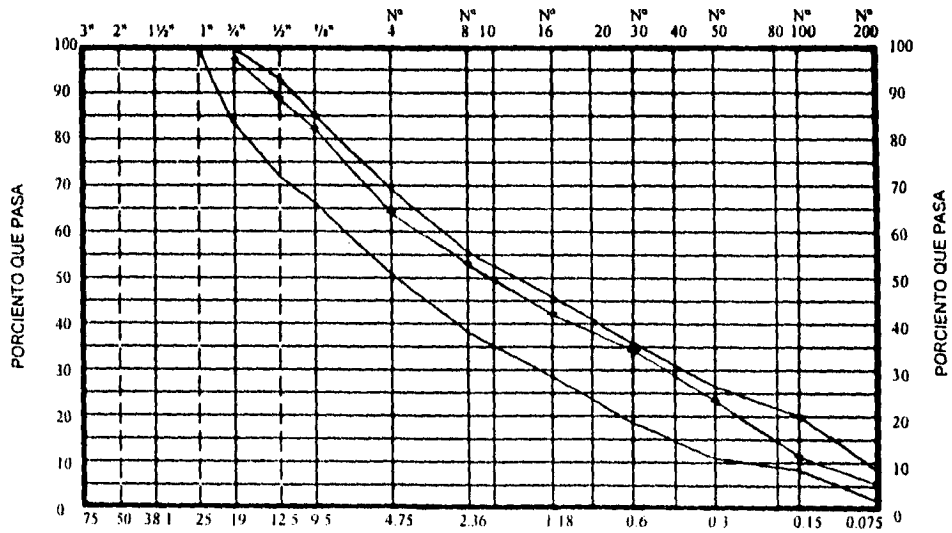
**RESULTADOS DE CALIDAD OBTENIDOS EN EL LABORATORIO
PARA MATERIAL NO. 4 (ANDESITA)**

ARENA		
PESO ESPECIFICO		2.3 g/cm ³
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO		1386 kg/m ³
PESO VOLUMETRICO SECO COMPACTO		1642 kg/m ³
% DE ABSORCION		6
EQUIVALENTE DE ARENA		1
GRANULOMETRIA		se anexa gráfica
MODULO DE FINURA		3.27
INTEMPERISMO ACELERADO		0
GRAVA		
PESO ESPECIFICO		2.3 g/cm ³
PESO VOLUMETRICO SUELTO		1388 kg/m ³
PESO VOLUMETRICO COMPACTO		1585 kg/m ³
% DE ABSORCION		5
GRANULOMETRIA		se anexan gráficas
INTEMPERISMO ACELERADO		0
DESGASTE DE LOS ANGELES		0
CEMENTO TIPO II		
PESO ESPECIFICO		3.11 g/cm ³
PERMEABILIDAD AL AIRE, APARATO DE BLAINE		3581 cm ² /g
SANIDAD:	EXPANSION EN AUTO CLAVE	0.01%
	CONTRACCION EN AUTOCLAVE	-
TIEMPO DE FRAGUADO (VICAT)		180 miñ
RESISTENCIA A LA COMPRESION	3 DIAS	244 kg/cm ²
	7 DIAS	291 kg/cm ²
	28 DIAS	343 kg/cm ²
RESISTENCIA A LA TENSION	3 DIAS	30 kg/cm ²
	7 DIAS	32 kg/cm ²
	28 DIAS	36 kg/cm ²
OXIDO DE MAGNESIO (MgO)		2.30%
OXIDO FERRICO (Fe ₂ O ₃)		2.40%
PERDIDA POR CALCINACION		1.50%
RESIDUO INSOLUBLE		14.20%
TRIOXIDO DE AZUFRE (SO ₃)		3.40%

**LIMITES EN LA GRANULOMETRIA DE ARENAS Y GRAVAS PARA C.C.R.
MATERIAL NO. 4 ANDESITA**

mallas		Peso (kg)	Material retenido % en peso	% que pasa en peso	Especificación
plg	mm				
1"	25.00				100
¾"	19.00	0.320	2.3	97.7	83-100
½"	12.50	1.165	8.4	89.3	72-93
¼"	9.50	0.945	6.8	82.5	66-85
Nº4	4.75	2.480	17.9	64.6	51-69
Nº8	2.36	1.495	10.8	53.8	38-56
Nº16	1.18	1.605	11.6	42.2	28-46
Nº30	0.60	1.025	7.4	34.8	18-36
Nº50	0.30	1.580	11.4	23.4	11-27
Nº100	0.15	1.760	12.7	10.7	8-20
Nº200	0.075	0.750	5.4	5.3	2-8

CHAROLA 0.735 5.3



CAPITULO 3

PRUEBAS DE LABORATORIO

En este capítulo se trata lo referente a la descripción de las pruebas de laboratorio que es necesario efectuar a los materiales seleccionados que se emplearán en la elaboración de la mezcla de concreto compactado con rodillos (CCR) para la construcción de pavimentos.

También se describirán las pruebas de laboratorio realizadas al concreto convencional y al concreto compactado con rodillos en estado endurecido a fin de conocer algunas propiedades mecánicas que nos servirán para el diseño de los pavimentos.

3.1.- AGREGADOS

Los tratamientos a que comúnmente se someten las muestras de los materiales pétreos son: cribado, trituración y lavado.

El cribado consiste en la separación del material por tamaños, para mezclar éstos en proporciones adecuadas , a fin de obtener una granulometría semejante a la que se va a aplicar en la obra o bien a la que se requiera de acuerdo con el uso probable del material, eliminando en algunos casos las fracciones que se encuentren en exceso.

La trituración de la muestra consiste en reducir el tamaño de sus partículas con objeto de darle la granulometría requerida, para lo cual a una porción de suelos gruesos o fragmento de roca, se le someterá a cualquiera de los siguientes tratamientos:

Trituración manual, en la que los fragmentos de roca se rompen con marro sobre una superficie resistente, hasta obtener el tamaño máximo y cierta sucesión granulométrica.

Trituración mecánica, en la que el material se rompe mediante equipo de trituración en el laboratorio o en el campo

El lavado de la muestra, que tiene por objeto eliminar finos perjudiciales, se efectúa a una porción de material en el laboratorio o en el campo.

El lavado en el laboratorio se realiza por decantación, colocando la muestra dentro de una charola rectangular, vertiendole agua hasta cubrir el material agitandolo y removiendolo en forma alternativa dentro del agua, hasta lograr poner en suspensión la fracción que se desea eliminar , en seguida se deja reposar un tiempo necesario, hasta que se observe que el material aprovechable este sedimentado y a continuación se elimina el agua por decantación. Este proceso se repite el número de veces que se requiera hasta que el agua que se decante salga limpia.

3.1.1.- GRANULOMETRIA

Para determinar la composición granulométrica de agregados fino y grueso se utilizaron los siguientes aparatos:

* Balanza o báscula que tiene una sensibilidad de un décimo por ciento (0.1%) del peso de la muestra.

* Mallas montadas sobre marcos finos, contruidos de manera que se eviten pérdidas de material durante el cribado.

Las muestras para análisis granulométrico se obtuvieron de la muestra original por cuarteo y se secaron a peso constante a una temperatura no mayor de ciento diez grados centígrados (110°C) y se separaron en una serie de tamaños usando las mallas de 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No.4 y No.8 para el análisis granulométrico en gravas y para el análisis granulométrico en arenas se utilizaron las mallas de No.8, No.16, No.30, No.50, No.100 y No.200.

La operación de cribado se efectuó por medio de movimientos laterales y verticales de la malla, acompañados de sacudimientos de modo que se mantenga la muestra en movimiento continuo sobre la superficie de la malla.

3.1.2.- EQUIVALENTE DE ARENA.

Esta prueba tiene por objeto determinar, en la fracción de suelo que pasa la malla Núm. 4.75, bajo condiciones de prueba establecidas, la proporción volumétrica de partículas de tamaño mayor que el de las arcillas, con respecto al volumen de las partículas finas de tamaño similar al de las citadas arcillas, para lo cual se emplea un procedimiento que amplifica el volumen de los materiales finos en forma proporcional a sus efectos perjudiciales.

El método que se describe cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, denominando su proporción volumétrica como equivalente de arena.

La prueba de equivalente de arena en general se aplica a materiales para sub-bases, bases y agregados pétreos para mezclas asfálticas y para concreto hidráulico, permitiendo obtener rápidamente datos sobre la calidad del material, desde el punto de vista de su contenido de finos indeseables, generalmente de naturaleza plástico.

El equipo y los materiales para efectuar esta prueba son los siguientes:

*** Probetas de acrílico transparente con escalas de alturas graduadas en milímetros, con tapón de hule y con la forma y dimensiones que más adelante se mostrarán.**

- * **Tubo irrigador de acero inoxidable, provisto de un tramo de manguera de hule y de un sifón.**

- * **Pisón metálico con peso de 1000 gramos.**

- * **Cápsulas metálicas de cincuenta y siete (57) milímetros de diámetro, con capacidad de 85 cm³.**

- * **Embudo de vidrio o plástico, de boca ancha de diez (10) centímetros de diámetro.**

- * **Cronómetro.**

- * **Dos botellas de vidrio o de plástico, con capacidad de tres punto setenta y ocho (3.78) litros.**

- * **Agitador mecánico que permita oscilaciones con amplitud de veinte (20) centímetros de la probeta instalada, o agitador automático con la misma amplitud de oscilación y que opere con una frecuencia de ciento setenta y cinco (175) ciclos por minuto.**

- * **Malla No. 4.75.**

- * **Balanza de dos (2) Kilogramos de capacidad.**

* **Solución de reserva.** Se prepara disolviendo cuatrocientos cincuenta y cuatro (454) gramos de cloruro de calcio en uno punto ochenta y nueve (1.89) litros de agua destilada; como al preparar esta solución se genera calor, se le deja enfriar y se hace pasar a través de un papel filtro con velocidad de filtrado rápida; a continuación se agregan cuarenta y siete (47) gramos de solución volumétrica al cuarenta por ciento (40%) de formaldehído R.A.A. (Solución comercial) y dos mil cincuenta (2050) gramos de glicerina U.S.P. (Glicerina normalizada), se mezcla el total y se agrega agua destilada hasta completar tres punto setenta y ocho (3.78) litros; finalmente se agita toda la solución para homogeneizarla.

* **Solución de trabajo.** Se prepara colocando en la botella de tres punto setenta y ocho (3.78) litros de capacidad, ochenta y cinco (85) cm³ de la solución de reserva, se llena con agua destilada y se agita para obtener una solución homogénea.

La preparación de la muestra se efectuó como a continuación se describe:

De la muestra total preparada se tomó por cuarteo la porción necesaria para obtener aproximadamente quinientos (500) gramos de material que pasa la malla No. 4.75. Se hace pasar el material así obtenido, a través de la malla No. 4.75, tomando las precauciones necesarias para evitar la pérdida de finos, pudiendo requerirse para esto último humedecerlo ligeramente.

Se mezcla perfectamente la muestra con las manos enguantadas, se llena una cápsula, se golpea ésta por su base contra la mesa de trabajo con el fin de acomodar las partículas y finalmente se enrasa.

Al efectuar esta prueba con muestras humedecidas implica un ahorro considerable de tiempo, pero generalmente se obtienen valores de equivalente de arena inferiores a los que resultan empleando muestras secas.

La prueba se efectúa de la forma siguiente:

Se coloca la botella con la solución de trabajo en una repisa que estará a una altura de novecientos quince (915) milímetros, sobre el nivel de la mesa de trabajo.

Se instala el sifón en la botella, se vierte en la probeta, utilizando el sifón, solución de trabajo hasta una altura de ciento uno punto cinco (101.5) milímetros.

Se coloca en la probeta la muestra previamente preparada, usando el embudo para evitar pérdidas de material. Se golpea firmemente varias veces la base de la probeta contra la palma de la mano, para remover las burbujas de aire que hubieran quedado atrapadas y facilitar el humedecimiento del material.

Se deja reposar la muestra durante diez (10) minutos, procurando no mover la probeta durante este lapso. A continuación se coloca el tapón de hule en la probeta y se afloja el material del fondo de ésta inclinándola y agitándola simultáneamente.

Se agita la probeta en cualquiera de las dos formas que se indican a continuación: Utilizando el agitador mecánico o mediante agitador manual.

Una vez efectuada la operación de agitado, se destapa la probeta, se coloca sobre la mesa de trabajo, se introduce en ella el tubo irrigador y se acciona de manera que al bajar, se vayan lavando las paredes de la probeta; se lleva el tubo hasta el fondo de la misma, efectuando simultáneamente con él un ligero picado al material, acompañado de movimientos rotatorios alternativos del tubo alrededor de su eje y trasladándolo por el contorno interior de la probeta. Esta acción tiene por objeto separar el material fino de las partículas gruesas con el fin de dejarlo en suspensión.

Cuando el nivel del líquido llegue a trescientos ochenta y uno (381) milímetros, se saca lentamente el irrigador de la probeta sin cortar el flujo de la solución, de manera que el líquido se mantenga aproximadamente al mismo nivel.

Se deja la probeta en reposo durante veinte (20) minutos contados a partir del momento en que se haya extraído el tubo irrigador.

Transcurrido el periodo de reposo, se lee en la escala de la probeta el nivel superior de los finos en suspensión, el cual se denominará "Lectura de Arcilla".

Después se introduce lentamente el pisón en la probeta, hasta que por su propio peso el pisón descansa en la fracción gruesa, teniendo cuidado de no perturbar los finos en suspensión. Mientras desciende el pisón, se conservará uno de los vértices

de su pie en contacto con la pared de la probeta, en las proximidades de la escala de graduación. Cuando el pisón se detenga al apoyarse en la fracción gruesa, se hace la lectura del nivel superior del indicador, se le restan Doscientos cincuenta y cuatro (254) milímetros y se registra la diferencia como "Lectura de Arena".

Se calcula el equivalente de arena empleando la siguiente fórmula:

$$EA = \frac{\text{Lectura de arena X 100}}{\text{Lectura de arcilla}}$$

Esta prueba se efectuará por duplicado y en cada caso el valor del equivalente de arena se aproximará al entero superior. Si los dos valores obtenidos no discrepan significativamente, se reportará el promedio aritmético como el valor del equivalente de arena; en caso contrario se repite la prueba y se promedian únicamente resultados congruentes de todas las determinaciones.

3.1.3.- SANIDAD E INTEMPERISMO ACELERADO.

Esta prueba tiene por objeto estimar la alteración que pueden sufrir los materiales pétreos al estar expuestos a la acción del intemperismo, cuando se utilizan en la construcción de carpetas y riegos de sello; consiste en someter a dichos materiales a varios ciclos de saturación en soluciones de sulfato de sodio, y de secado en horno, que producen degradación de los materiales pétreos, la cual se considera como una medida de la susceptibilidad de los mismos a los efectos del medio ambiente.

El método para la prueba de sanidad de los agregados mediante el uso de sulfatos de sodio, se refiere al procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración, producida por soluciones saturadas de sulfatos de sodio. Proporciona información útil para juzgar la sanidad de los agregados expuestos a la acción de la intemperie, especialmente cuando no se dispone de información adecuada respecto al comportamiento de tales materiales en condiciones reales de intemperismo.

La prueba se efectúa de la forma siguiente:

Se agita vigorosamente la solución de sulfato de sodio para homogeneizarla, se vierte en cada uno de los recipientes de plástico con capacidad de 20 litros, cantidades suficientes de la solución para que al introducir las canastillas con material pétreo, éste quede cubierto con un tirante mínimo de dos centímetros.

Se sumergen en su respectivo recipiente de plástico con solución cada una de las canastillas que contienen las diferentes fracciones de prueba, y se mantienen en estas condiciones durante dieciseis y dieciocho horas, permaneciendo tapados los recipientes para reducir la evaporación y evitar la introducción de partículas extrañas.

A continuación se extraen de la solución las canastillas conteniendo las fracciones de prueba y se dejan escurrir durante quince minutos, se introducen en el horno y se secan hasta peso constante a una temperatura de ciento cinco grados centígrados, debiendo removerse periódicamente los agregados durante esta operación; terminada ésta se sacan del horno en sus respectivas canastillas y se dejan enfriar a temperatura ambiente, con lo cual concluye el primer ciclo de la prueba.

Se repiten cuatro veces más las operaciones indicadas en los dos párrafos anteriores.

Terminando el último ciclo (5to. ciclo) se lavan con agua todas las fracciones para eliminarles el sulfato remanente.

Se colocan en recipientes por separado cada una de las fracciones de prueba contenidas en las canastillas y se secan en el horno a una temperatura de ciento cinco grados centígrados, hasta peso constante, después de lo cual se sacan del horno y se dejan enfriar a la temperatura ambiente.

Se pesará y excepto en el caso de la roca firme, se cribará en la misma malla en que haya sido referida antes de la prueba. Se deberán pesar las partículas retenidas en dicha malla y se anotará su peso.

La muestra se procura en cantidad tal que proporcione, por lo menos, las siguientes cantidades de los diferentes tamaños, que deberán estar presentes en proporciones de 5% (o más).

SANIDAD DE LOS AGREGADOS - INTEMPERISMO ACELERADO

GRAVAS		3" 7.62cm	2 1/2" 6.35cm	2" 5.08cm	1 1/2" 3.81cm	1" 2.54cm
TMA						
PASA POR:	REYENIDO EN:					
7.62 cm (3")	6.35 cm (2 1/2")	3000				
6.35 cm (2 1/2")	5.08 cm (2")	1500	1500			
5.08 cm (2")	3.81 cm (1 1/2")	1500	1500	1500		
3.81 cm (1 1/2")	2.54 cm (1")		670	1500	750	
2.54 cm (1")	1.91 cm (3/4")		330	670	750	750
1.91 cm (3/4")	1.27 cm (1/2")			330	670	750
1.27 cm (1/2")	0.95 cm (3/8")				330	300
0.95 cm (3/8")	0.64 cm (1/4")					300
0.64 cm (1/4")	Num. 4					300

3.1.4.- PESO VOLUMETRICO SUELTO.

Para esta determinación, se utilizaron los siguientes aparatos:

*** Una balanza o báscula, con sensibilidad de cinco décimos por ciento (0.05%) del peso de la muestra.**

*** Una varilla de acero lisa de uno punto cincuenta y siete (1.57) centímetros (5/8") de diámetro, recta, de aproximadamente sesenta (60) centímetros de longitud, con un extremo terminado en una superficie semiesférica, cuyo diámetro sea de uno punto cincuenta y siete (1.57) centímetros (5/8").**

*** Una medida de forma cilíndrica y de preferencia provista de asas.**

Para su determinación se realizaron las siguientes operaciones:

La medida se llenó hasta derramarse, por medio de una pala o cucharón, descargando el agregado desde una altura no mayor de cinco (5) centímetros respecto a la parte superior de la misma. Debe evitarse hasta donde sea posible, la segregación de los tamaños de las partículas de que este compuesta la muestra.

En seguida, se enrasó la superficie de la muestra con los dedos o con una regla, de modo que los salientes de las partículas mayores del agregado grueso compensen los huecos mayores de la superficie en la parte superior de la medida.

Se determinó el peso del agregado en la medida. Y se obtuvo el peso volumétrico suelto del agregado dividiendo el peso neto de éste entre el volumen calibrado de la medida.

En todas las determinaciones descritas los resultados obtenidos con la misma muestra concordaron con una aproximación de uno por ciento (1%)

3.1.5.-PESO VOLUMETRICO COMPACTO.

Los aparatos que se requieren en esta prueba son los mismos que se utilizan para la prueba descrita en el subtítulo 3.1.4.

Para la determinación del peso volumétrico compacto se realizó lo siguiente:

La medida se llenó a un tercio ($1/3$) de su capacidad, emparejándose la parte superior con los dedos. En seguida se dieron a la masa veinticinco (25) golpes con la varilla de compactación, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Después se llenó la medida a dos tercios ($2/3$) de su capacidad y se repitió la operación de dar los veinticinco (25) golpes, como antes se indicó. A continuación se llenó hasta derramar, y se golpeó nuevamente veinticinco (25) veces y se quitó el agregado sobrante, usando la varilla como regla. Al golpear la primera (1°) capa, no se deberá permitir que la varilla choque con fuerza en el fondo de la medida.

Al golpear la segunda (2°) capa y la final, sólo se debe usar la fuerza suficiente para que la varilla de compactación penetre en la última capa de agregado colocada en la medida.

Luego de quitar el agregado sobrante se determinó el peso neto del agregado contenido en la medida. En seguida se obtiene el peso volumétrico del agregado dividiendo su peso neto entre el volumen calibrado de la medida.

3.1.6.- PESO VOLUMETRICO MAXIMO OPTIMO.

Se conoce como razón óptima grava-arena, a la relación que existe entre el peso de una cantidad de grava y el de arena necesaria y suficiente para rellenar los vacíos de la grava y dar así a la mezcla una densidad máxima.

El procedimiento que se va a describir se conoce como "pesos óptimos" o peso volumétrico máximo óptimo (P.V.M.O).

Se toma una muestra representativa de cada uno de los materiales por separado (arena y grava) y se elaboró una tabla en la que se deben constar: distintos porcentajes de grava y arena. Estos porcentajes deben variar para ambos materiales, entre 0 y 100%.

Se toma el peso necesario de cada material de acuerdo con el porcentaje que se trata de estudiar y se mezclan, procurando que no se produzcan segregaciones. Esto se logra mediante revolturas consecutivas y regulares. Una vez que esta realizada la mezcla se procede a determinar el peso volumétrico.

Los aparatos que se requieren en esta prueba son los mismos que se utilizan para la prueba descrita en el subtítulo 3.1.4.

La medida se llenó a un tercio (1/3) de su capacidad, emparejándose la parte superior con los dedos. En seguida se dieron a la masa veinticinco (25) golpes con

la varilla de compactación, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Después se llenó la medida a dos tercios ($2/3$) de su capacidad y se repitió la operación de dar los veinticinco (25) golpes, como antes se indicó. A continuación se llenó hasta derramar, y se golpeó nuevamente veinticinco (25) veces y se quitó el agregado sobrante, usando la varilla como regla. Al golpear la primera (1ª) capa, no se deberá permitir que la varilla choque con fuerza en el fondo de la medida.

Al golpear la segunda (2ª) capa y la final, sólo se debe usar la fuerza suficiente para que la varilla de compactación penetre en la última capa de agregado colocada en la medida.

Luego de quitar el agregado sobrante se determinó el peso neto del agregado contenido en la medida. En seguida se obtiene el peso volumétrico del agregado dividiendo su peso neto entre el volumen calibrado de la medida.

Para cada porcentaje distinto de los materiales en estudio se requiere hacer tres pruebas consecutivas, de las cuales cuando menos dos de ellas deben coincidir.

Se realiza una gráfica con los pesos volumétricos obtenidos, en el eje de las ordenadas y con los porcentajes grava-arena en el eje de las abscisas. El punto máximo de esta curva representará el peso volumétrico máximo óptimo (P.V.M.O).

3.1.7.- PRUEBA DE ABRASION (DESGASTE DE LOS ANGELES)

El método de la prueba de abrasión del agregado grueso, por medio de la máquina de Los Angeles, se refiere al procedimiento a seguir para determinar la resistencia a la abrasión de la grava sin triturar y triturada, por medio de la máquina de Los Angeles y una carga abrasiva.

Esta prueba tiene por objeto determinar el desgaste de los materiales pétreos empleados en la construcción de carpatas y otros usos, para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, forma de las partículas, etc.; la prueba consiste en someter a las muestras de material pétreo seco y con determinada granulometría a un proceso de abrasión que se efectúa en la máquina de Los Angeles, en la que se introduce la muestra junto con esferas metálicas y mediante una rotación de dicha máquina se originan entre las esferas y al material cargas abrasivas y de impacto.

En esta determinación se requieren los siguientes aparatos:

- * Máquina de abrasión Los Angeles**

- * Mallas Tyler estándar de abertura cuadrada, cuyas denominaciones se darán mas adelante.**

* Carga abrasiva, que deberá consistir de esferas de acero, de aproximadamente cuatro punto setenta y seis (4.76) centímetros (1 7/8") de diámetro y que pesen cada una entre trecientos noventa y cuatrocientos cuarenta y cinco (445) gramos. La carga abrasiva, de acuerdo con la granulometría de la muestra de prueba , deberá ser la siguiente:

Granulometría	Número de esferas	Peso de la carga gramos
A	12	5 000 + 25
B	11	4 584 + 25
C	8	3 330 + 20
D	6	2 500 + 15
E	12	5 000 + 25
F	12	5 000 + 25
G	12	5 000 + 25

La muestra de prueba se seco en horno a una temperatura comprendida entre ciento cinco y ciento diez grados centígrados (105-110°C) y estuvo de acuerdo con alguna de las granulometrías que se dan en la tabla siguiente. La granulometría usada es la más aproximada a la granulometría real del material que se utilizó.

Para efectuar la prueba, se siguió el siguiente procedimiento: la muestra de prueba y la carga abrasiva se colocaron en la máquina de Los Angeles haciendo girar esta a una velocidad comprendida entre treinta (30) y treinta y tres (33) revoluciones

por minuto. Para las granulometrías A,B,C y D, la máquina deberá dar quinientos (500) revoluciones y para las granulometrías E F y G , mil (1000) revoluciones. La diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra de la prueba, se deberá expresar en por ciento del peso original de la muestra. Este valor se reportó como por ciento de desgaste.

ABRASION DEL AGREGADO GRUESO POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES.

GRAVAS		1 1/2"	3/4"	3/8"	Num. 4	3"	2"	1 1/2"
YMA		3/4"	3/8"	Num. 4	Num. 4	1 1/2"	2"	3/4"
A		A	B	C	D	E	F	G
PASA POR:	RETENIDO EN:							
7.62 cm (3")	6.35 cm (2 1/2 ")					2500	2500	2500
6.35 cm (2 1/2 ")	5.08 cm (2")					2500	2500	2500
5.08 cm (2")	3.81 cm (1 1/2 ")					5000	5000	5000
3.81 cm (1 1/2 ")	2.54 cm (1")	1250						
2.54 cm (1")	1.91 cm (3/4")	1250						
1.91 cm (3/4")	1.27 cm (1/2")	1250	2500					
1.27 cm (1/2")	0.95 cm (3/8")	1250	2500					
0.95 cm (3/8")	0.64 cm (1/4")			2500				
0.64 cm (1/4")	Num. 4			2500				
Num. 4	Num. 8				5000			
		5000 rpm.				1000 rpm.		
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12

3.1.8.- DENSIDAD Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO.

Para esta determinación, se usaron los siguientes aparatos:

***Una balanza con capacidad mínima de un (1) Kilogramo y sensibilidad mínima de un décimo (0.1) de gramo.**

***Un frasco volumétrico de quinientos (500) mililitros de capacidad**

***Un molde metálico troncocónico de tres punto ochenta y un (3.81) centímetros (1½") de diámetro superior, ocho punto ochenta y nueve (8.89) centímetros (3½") de diámetro inferior y siete punto treinta y dos (7.32) centímetros de altura.**

***Una varilla de compactación con un peso de trescientos cuarenta (340) gramos, con una superficie de empuje circular plana, de dos punto cinco (2.5) centímetros (1") de diámetro.**

La muestra se preparó colocando 1000 gramos de agregado fino, seleccionado por cuarteo, en una charola o un recipiente adecuado, después de secarlo a peso constante a una temperatura de cien a ciento diez (100-110°C). Se cubrió con agua y se dejó reposar durante veinticuatro (24) horas.

Posteriormente se extendió la muestra sobre una superficie plana, y se movió frecuentemente para asegurar un secado uniforme. Esta operación se prolongó hasta que el agregado fino alcanzó una condición en que pudiera fluir libremente. En seguida se colocó el agregado fino, sin compactar, en el molde troncocónico; y se compactó la superficie suavemente apisonando y luego se levanta el molde verticalmente. Si hay humedad libre, el cono de agregado fino retendrá su forma, entonces deberá continuarse el secado moviendo el material constantemente y levantando el molde a intervalos frecuentes hasta que el cono de agregado fino se extienda hasta quitar el molde. Esto indicará que el agregado fino ha alcanzado una condición de sequedad superficial. Si el cono de agregado fino se extiende en el primer ensayo, el agregado fino se habrá secado más allá de la condición saturada y superficialmente seca. En este caso se deberán mezclar perfectamente con el agregado fino algunos mililitros de agua y se deberá dejar reposar durante treinta (30) minutos en un recipiente cubierto. Después de esto se deberá reanudar el proceso de secado y prueba de agregado fino.

El procedimiento general de prueba fué el siguiente se colocó en el frasco una muestra de quinientos gramos de material y se llenó el frasco casi hasta la marca de quinientos (500) mililitros con agua. En seguida, se rueda el frasco sobre una superficie plana, a fin de eliminar las burbujas de aire, después de lo cual se colocó en un baño. Aproximadamente después de una hora, se llenó de agua hasta la marca de los quinientos (500) mililitros y se determinó el peso total del agua introducida al frasco. Se sacó el agregado fino del frasco, y se secó hasta peso constante a una temperatura comprendida entre cien (100°) y ciento diez grados centígrados (110°C), se enfría a la temperatura del laboratorio en un desecador y se pesa.

Los cálculos necesarios se efectúan con las siguientes fórmulas:

$$\text{Densidad} = \frac{A_s}{V_f - (K - F - A_s)}$$

donde:

K = Peso (Agua + Arena + Frasco)

F = Peso en gramos Frasco vacío

A_s = Peso en gramos de la sat. sup. seca

V_f = Volumen del frasco en cm³ = 450

$$\% \text{ Absorción} = \frac{500 - A \times 100}{A}$$

Las determinaciones duplicadas deberán coincidir con una aproximación de dos centésimas por ciento (0.02%) en el caso de densidad, y cinco centésimas por ciento (0.05%) en el caso de absorción.

3.1.9.- DENSIDAD Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO.

Para esta determinación se usaron los siguientes aparatos:

***Una bolsa con capacidad mínima de cinco (5) kilogramos y sencibilidad mínima de cinco décimos (0.5) de gramo**

*** Un cesto de alambre de malla Núm. 4 de aproximadamente veinte (20) centímetros de diámetro y veinte (20) centímetros de altura**

***Un recipiente adecuado para sumergir el cesto de alambre en el agua y un dispositivo para colgar el cesto de alambre en el centro del platillo de la balanza**

La muestra se preparó de la siguiente forma: Por el método de cuarteo, de la muestra por probar se seleccionan aproximadamente cinco (5) kilogramos de agregado, desechando todo el material que pase la malla de 3/8".

El procedimiento de prueba se realizó de la siguiente forma: después de lavada la muestra para eliminar el polvo u otros contaminantes se secó a una temperatura comprendida entre cien y ciento diez grados centígrados (100-110°C) y después se sumergió en agua durante un periodo de veinticuatro (24) horas. Luego se saca la muestra y se rueda en una tela absorbente, hasta eliminar la película de agua visible, aún cuando las superficies de las partículas todavía aparescan húmedas. Se secan individualmente los fragmentos más grandes. Se obtiene el peso de la muestra en

condición saturada y superficialmente seca, determinando éste y todos los pesos subsecuentes con una aproximación de cinco décimas (0.5) de gramo. Una vez pesada se colocó la muestra saturada y superficialmente seca en el centro de alambre y se determinó su peso dentro del agua. Se seca la muestra a una temperatura de 100-110°C y se pesa.

Los cálculos necesarios se efectúan con las fórmulas siguientes:

$$\text{Densidad} = \frac{Ph}{V}$$

donde:

Ph = Peso en gramos de la muestra saturada y superficialmente seca en el aire.

V = Volúmen de agua que se obtiene de la diferencia entre el peso en gramos de la muestra saturada y superficialmente seca, en el aire con el peso en gramos de la muestra saturada, en el agua

$$\% \text{ Absorción} = \frac{Ph \times 100}{Ps}$$

donde:

Ph = Peso en gramos de la muestra saturada y superficialmente seca en el aire

Ps = Peso en gramos de la muestra secada al horno

3.2.- CONCRETO HIDRAULICO.

3.2.1.- REVENIMIENTO.

El método para la prueba de revenimiento del concreto se refiere al procedimiento que debe seguirse tanto en el laboratorio como en el campo, para determinar el revenimiento. Esta prueba no se considera aplicable cuando haya en el concreto, una cantidad considerable de agregado grueso con tamaños mayores de cinco (5) centímetros (2").

Los aparatos necesarios para esta prueba son los siguientes:

*** Un molde de lámina galvanizada del Núm. 16 en forma de cono truncado, con base de veinte (20) centímetros (8") de diámetro, diez (10) centímetros (4") de diámetro superior y treinta punto cinco (30.5) centímetros (12") de altura. Deberá estar provisto de piezas para apoyar los pies y de asas.**

*** Una varilla para compactar, que será de acero, de sección redonda, recta, de uno punto cincuenta y ocho (1.58) centímetros (5/8") de diámetro y aproximadamente de sesenta centímetros (0.60) de largo, con un extremo redondo y rematando en una semiesfera con un diámetro de uno punto cincuenta y ocho (1.58) centímetros.**

Las muestras de concreto para especímenes de prueba se deberán tomar de la mezcladora. En el caso de concreto para pavimentación, las muestras se pueden tomar inmediatamente después de depositar la revoltura sobre la base.. Deberán tomarse cuando menos cinco (5) muestras de diferentes porciones y se debe mezclar perfectamente para formar el espécimen de prueba. El molde deberá humedecerse y colocarse sobre una superficie plana, húmeda y no absorbente. Se debe llenar inmediatamente el molde, en tres (3) capas, cada una de aproximadamente un tercio (1/3) del volumen del molde, con concreto. Al vaciar cada cucharón de concreto se debe mover al rededor del borde superior del molde a fin de asegurar una distribución simétrica del concreto dentro del mismo. Cada capa se compactó con veinticinco (25) golpes de la varilla; distribuyendo los golpes uniformemente en toda la sección transversal del molde. Después de compactar la capa superior se enrasa la superficie del concreto con una llana. Inmediatamente después se quita el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. en seguida, se mide el revenimiento; éste se determina mediante la diferencia de altura del molde y la altura del espécimen en su eje. El revenimiento se reporta en cm de asentamiento

$$R = 30.5 - H$$

donde:

R = Revenimiento

H = Altura en centímetros, después del asentamiento

3.2.2.- FABRICACION DE ESPECIMENES Y CURADO DE LOS MISMOS.

Debido a que se realizaron especímenes de concreto para ensayar a compresión, a tensión y a flexión en este insiso se describirán los procesos de fabricación empleados para cada ensaye.

3.2.2.1.- Fabricación de especímenes de concreto para la prueba de compresión y tracción.

Se usaron los siguientes aparatos:

*Moldes metálicos previstos de una placa de base metálica que se fijará en forma adecuada al molde. Una vez armado el molde y la placa de base se aplica antes de usarse una capa de aceite.

*Varilla para compactación, de acero de sección redonda de 1.58 cm de ϕ y 60 cm de longitud con extremo redondeado de 1.58 cm de ϕ

En la preparación de los especímenes para la prueba a la compresión y a la tensión se siguió el siguiente procedimiento:

Se coloca el concreto en el molde, en tres (3) capas de volumen aproximadamente igual y el concreto se distribuye con la varilla de compactación en movimiento circular. Cada capa se compacta con 25 golpes de la varilla. Los golpes

se distribuyen uniformemente sobre la sección transversal del molde de tal forma que penetren hasta la capa anterior. Después de compactada la capa superior se empareja la superficie de concreto con una cuchara y se le da el acabado final. Los especímenes deben sacarse de los moldes a no menor de 20 horas ni más de 48 horas, después de dicho proceso y almacenarse en el cuarto de curado. Hasta el momento de ser ensayados.

Cabe señalar que las dimensiones de los cilindros fueron de 30cm de diámetro por 60 de altura.

3.2.2.2.- Fabricación de especímenes de concreto para la prueba de flexión.

Los especímenes para la prueba de flexión fueron de 15 x 15 x 60, se utilizaron los siguientes aparatos:

***Moldes de especímenes rectangulares rígidos y no absorbentes. Una vez armado el molde se le aplica una capa delgada de aceite mineral para impedir la dificultad a la hora de sacar los especímenes.**

***Varilla de compactación que deberá ser de acero de sección redonda, recta, de uno punto cincuenta y ocho (1.58) centímetros (5/8") de ϕ y aproximadamente (60) cm de longitud, con un extremo redondeado terminado en forma semiesférica de uno punto cincuenta y ocho centímetros (5/8") de ϕ .**

El moldeado de los especímenes se realizó de la forma siguiente:

Una vez que se realiza la mezcla y se están preparados los moldes se colocan dos capas de concreto consolidando cada una de ellas por medio de compactación de varilla. Después de compactar cada capa, se pican los lados y los extremos del concreto con una cuchara; el número de golpes por capa será de 25. Una vez terminadas las operaciones de varillado, picado y golpeado, empareja la parte superior con una regla y se da el acabado con una llana. Las maniobras se realizan rápidamente y sin interrupciones a fin de evitar la evaporación de agua. Posteriormente se llevarán al cuarto de curado.

3.2.3.- RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Una vez fabricados y curados los especímenes se ensayaron a compresión después de que cumplieron la edad requerida para su ruptura. Los extremos de los especímenes para la prueba de compresión se cabecearon; procurando que este cabeceo fuera lo más delgado posible. Los periodos para pruebas de compresión fueron de 7 y 28 días. La dimensión de los especímenes cilíndricos son de quince (15) cm de diámetro por treinta (30) cm de largo.

El procedimiento es el siguiente:

Después de verificar las dimensiones de los especímenes cilíndricos y de tomar su peso se procederá a colocarlos en la máquina de ensaye, aplicando la carga en forma continua y sin impactos; hasta que el espécimen falle, anotando la carga máxima soportada por el espécimen durante la prueba.

La resistencia del espécimen a la compresión, se calcula dividiendo la carga máxima soportada entre el área de la sección transversal del espécimen.

El informe incluye los siguientes datos:

Número de identificación, diámetro en cm, longitud en cm, area en cm^2 , peso del espécimen antes de someterlo a ruptura en kg, carga máxima en kg, edad del espécimen en días, resistencia a la compresión en kg/cm^2 .

3.2.4.- RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXION.

Una vez que los especímenes cumplieron una edad de 7 o 28 días se sacan del cuarto de curado para efectuar la ruptura por flexión de dichos especímenes. La prueba a la flexión se realizó como a continuación se describe:

Después de tomar medidas como peralte ancho y longitud así como su peso se llevaron al aparato y se colocaron de lado respecto de la posición en que fueron colocados y se centraron sobre los bloques de apoyo. Posteriormente se carga hasta que el espécimen falle, anotando la carga máxima soportada.

El módulo de ruptura se calcula del siguiente modo:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

R = Módulo de ruptura, en kg/cm²

P = Carga máxima soportada por el espécimen

L = Distancia entre centro de apoyos (cm)

b = Ancho medio del espécimen (cm)

d = Peralte medio del espécimen (cm)

3.2.5.- RESISTENCIA A LA TENSION POR COMPRESION (PRUEBA BRASILEÑA).

El procedimiento para la prueba de resistencia a la tensión de cilindros de concreto es el siguiente:

Una vez alcanzados los 7 y 28 días de edad se ensayarán los especímenes, para esto será necesario sacarlos del cuarto de curado se tomarán sus dimensiones y se llevarán a la máquina de ensayo que será la misma que se utilizó para ensayar los especímenes a compresión; la diferencia estriba en el acomodo o colocación de el especimen para recibir la carga aplicada, en este caso el cilindro se colocará de tal forma que en lugar de que la carga se aplique en el área transversal de éste, se aplicará a lo largo de la altura; para que la carga sea uniformemente aplicada a lo largo del cilindro, entre placas de carga y el cilindro se pondrá una tira de madera delgada exactamente al centro longitudinal superior e inferior del cilindro y se procederá entonces a aplicar la carga en forma continua hasta la ruptura del especimen, obteniendo así la carga máxima soportada a tensión por el cilindro.

3.3.- CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS.

Para la realización de las mezclas de C.C.R. se utilizó una mezcladora de espas con eje vertical. Para el mezclado del concreto primero se humedece la mezcladora, se añaden los agregados; es entonces cuando se inicia la operación de la revoladora añadiendo luego el cemento y el agua mientras gira la olla después de agregar la cantidad de agua se activa el cronómetro durante un minuto y se apaga la revoladora.

3.3.1.-PRUEBA VEBe.

Una vez realizadas las mezclas de C.C.R. para la obtención de la consistencia de la mezcla se utilizó el aparato VeBe. Este equipo ha sido diseñado especialmente para realizar ensayos sobre mezclas de concreto de trabajabilidad muy baja, obtiene su nombre de las iniciales de su creador el sueco V. Bahrner.

El equipo VeBe es una modificación del ensayo del cono de asentamiento (prueba de revenimiento) que se utiliza para mezclas de concreto con trabajabilidad normal.

Este aparato está compuesto de una mesa vibratoria pequeña de 380 x 260 mm apoyado en cuatro amortiguadores; el vibrador opera a una frecuencia de 50 a 60 Hz, de acuerdo con la casa fabricante, y una amplitud de 0.35 mm; un recipiente cilíndrico de 240 mm de diámetro y de 200 mm de alto; un molde con forma de tronco de cono

hueco, idéntico al cono para medir el asentamiento, y un disco transparente de 230 mm de diámetro y un espesor de 10 mm.

En diversos laboratorios del mundo se ha tratado de modificar el equipo VeBe, con el fin de normalizar el aparato para efectuar ensayos de consistencia de mezclas de concreto compactado con rodillos C.C.R. Estas modificaciones consisten en dimensionar el molde cilíndrico, la frecuencia de vibración de la mesa, el peso adicional necesario para reflejar las condiciones de compactación en el campo, la operación del equipo, así como un registro continuo de movimiento del disco transparente durante la vibración.

Para lograr un registro continuo se acondicionan al equipo sensores que registren el desplazamiento vertical VS el tiempo transcurrido. Al graficar esto sobre un plano cartesiano se obtiene una curva exponencial. En ella se observa el proceso de asentamiento que se divide en tres estados. El primero es asentamiento inicial bastante brusco; en el segundo se observa la fuerte actividad de las partículas del concreto que tienden a ocupar una posición estable con una expulsión violenta de aire; y el tercer estado se aprecia una vibración prolongada que prácticamente no tiene ningún efecto sobre la medida de consistencia.

La prueba se realiza de la manera siguiente:

Una vez que se ha realizado la mezcla de C.C.R. en la revolvedora, con una muestra de concreto de dicha mezcla se procede a llenar el molde cónico, en tres

capas con 25 golpes cada una. Al finalizar el proceso se retira el molde superior e inmediatamente se coloca el disco transparente de tal manera que toque la parte superior del concreto y simultáneamente se inicia la vibración y se activa el cronómetro.

La vibración se finaliza una vez que la superficie inferior de el disco transparente se empapa completamente con la lechada de cemento. En ese instante se detiene el cronómetro y el tiempo registrado se conoce como tiempo **VeBe** que es un indicativo de la trabajabilidad del concreto.

Por sus características este método de prueba no se recomienda aplicar a concretos que tengan medida de tiempo **VeBe** mayor que 30 sg.

3.3.2.- FABRICACION DE ESPECIMENES Y CURADO DE LOS MISMOS.

3.2.2.1.- Fabricación de especímenes de concreto para la prueba de compresión y brasileña.

Se usaron los siguientes aparatos:

*Moldes metálicos previstos de una placa de base metálica que se fijará en forma adecuada al molde. Una vez armado el molde y la placa de base se aplica antes de usarse una capa de aceite.

*Varilla para compactación, de acero de sección redonda de 1.58 cm de ϕ y 60 cm de longitud con extremo redondeado de 1.58 cm de ϕ

*Mesa vibrante convencional con dimensiones de 0.60 x 0.60 m

*Sobrepeso de 13.3 Kg acondicionado con un motor con vibración de 340/min

En la preparación de los especímenes para la prueba a la compresión y a la tensión se siguió el siguiente procedimiento:

Se coloca el concreto en el molde, en tres (3) capas de volumen aproximadamente igual cada capa se colocará primero en el aparato de factor de compactación para luego caer por gravedad a los moldes cilíndricos esto a fin de

distribuir uniformemente el material; posteriormente cada capa se compacta con 25 golpes de la varilla y se sube a una mesa vibrante convencional provista de mordazas que permiten sujetar el cilindro; y se le carga a este un sobrepeso de 13.3 Kg este sobrepeso además proporcionará vibración a la mezcla del cilindro; se enciende el motor tanto de la mesa como de el sobrepeso y se espera el tiempo V_{vibe} que se obtiene en dicha prueba un aproximado promedio entre 20 y 30 seg.; este proceso se realizó a cada una de las tres capas. Después de compactada la capa superior se empareja la superficie de concreto con una cuchara y se le da el acabado final. Los especímenes deben sacarse de los moldes a no menos de 20 horas ni más de 48 horas, después de dicho proceso se almacenaron en el cuarto de curado hasta el momento de ser ensayados.

Cabe señalar que las dimensiones de los cilindros fueron de 30cm de diámetro por 60 de altura.

El número de especímenes que se elaboraron cuando menos fueron de dos por cada edad y cuando más fueron de cuatro.

3.2.2.2.- Fabricación de especímenes de concreto para la prueba de flexión.

Los especímenes para la prueba de flexión fueron de 15 x 15 x 60, se utilizaron los siguientes aparatos:

*Moldes de especímenes rectangulares rígidos y no absorbentes. Una vez armado el molde se le aplica una capa delgada de aceite mineral para impedir la dificultad a la hora de sacar los especímenes.

*Varilla de compactación que deberá ser de acero de sección redonda, recta, de uno punto cincuenta y ocho (1.58) centímetros (5/8") de ϕ y aproximadamente (60) cm de longitud, con un extremo redondeado terminado en forma semiesférica de uno punto cincuenta y ocho centímetros (5/8") de ϕ .

*Mesa vibrante convencional de 0.60 x 0.60 cm.

*Sobrepeso de 50 Kg acondicionado con un motor con vibración de 340/min

El moldeado de los especímenes se realizó de la forma siguiente:

Una vez que se realiza la mezcla y se están preparados los moldes se colocan dos capas de concreto consolidando cada una de ellas por medio de compactación de varilla. Después de compactar cada capa, se pican los lados y los extremos del concreto con una cuchara; el número de golpes por capa será de 90. Una vez

terminadas las operaciones de varillado en la segunda capa se sube el molde rectangular a la mesa vibratoria y se le aplica el sobrepeso encendiendo simultaneamente el motor del sobrepeso y la mesa vibratoria durante un tiempo $V_e B_e$ igual al obtenido por dicha prueba aproximadamente un promedio entre 20 y 30 sg.; se empareja la parte superior con una regla y se da el acabado con una llana. Las maniobras se realizan rápidamente y sin interrupciones a fin de evitar la evaporación de agua. Posteriormente se llevarán al cuarto de curado.

3.3.3.- RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Una vez fabricados y curados los especímenes se ensayaron a compresión después de que cumplieron la edad requerida para su ruptura. Los extremos de los especímenes para la prueba de compresión se cabecearon; procurando que este cabeceo fuera lo más delgado posible. Los periodos para pruebas de compresión fueron de 7 y 28 días. La dimensión de los especímenes cilíndricos son de quince (15) cm de diámetro por treinta (30) cm de largo.

El procedimiento para la prueba es el siguiente:

Después de verificar las dimensiones de los especímenes cilíndricos y de tomar su peso se procederá a colocarlos en la máquina de ensays, aplicando la carga en forma continua y sin impactos; hasta que el espécimen falle, anotando la carga máxima soportada por el espécimen durante la prueba.

La resistencia del espécimen a la compresión, se calcula dividiendo la carga máxima soportada entre el área de la sección transversal del espécimen.

El informe incluye los siguientes datos: número de identificación, diámetro en cm, longitud en cm, area en cm^2 , peso del espécimen antes de someterlo a ruptura en kg, carga máxima en kg, edad del espécimen en días, resistencia a la compresión en kg/cm^2 .

3.3.4.- RESISTENCIA A LA TENSION POR FLEXION.

Una vez que los especímenes cumplieron una edad de 7 o 28 días se sacan del cuarto de curado para efectuar la ruptura por flexión de dichos especímenes. La prueba a la flexión se realizó como a continuación se describe:

Después de tomar medidas como peralte ancho y longitud así como su peso se llevaron al aparato y se colocaron de lado respecto de la posición en que fueron colocados y se centraron sobre los bloques de apoyo. Posteriormente se carga hasta que el espécimen falle, anotando la carga máxima soportada.

El módulo de ruptura se calcula del siguiente modo:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

R = Módulo de ruptura, en kg/cm²

P = Carga máxima soportada por el espécimen

L = Distancia entre centro de apoyos (cm)

b = Ancho medio del espécimen (cm)

d = Peralte medio del espécimen (cm)

3.3.5.- RESISTENCIA A LA TENSION POR COMPRESION (PRUEBA BRASILEÑA).

Para la realización de esta prueba se requiere del siguiente equipo:

***Máquina de ensaya que será la misma que se utiliza para compresión**

***Tiras para distribución de la carga.**

***Dispositivo para trazar líneas diametrales**

El procedimiento para la prueba de resistencia a la tensión de cilindros de concreto es el siguiente:

Una vez alcanzados los 7 y 28 días de edad se ensayarán los especímenes, para esto será necesario sacarlos del cuarto de curado se tomarán sus dimensiones y se marcarán en cada extremo del espécimen líneas diametrales por medio del dispositivo indicado que asegure que las líneas se encuentren en el mismo plano diametral. Luego se llevarán a la máquina de ensaye; la diferencia estriba en el acomodo o colocación de el espécimen para recibir la carga aplicada, en este caso el cilindro se colocará de tal forma que en lugar de que la carga se aplique en el área transversal del cilindro, se aplicará a lo largo de la altura de éste; para que la carga sea uniformemente aplicada a lo largo del cilindro, se utilizaron las tiras para distribución de la carga, las cuales pueden ser de madara o neopreno con espesor de 3 mm y ancho de 25 mm aproximadamente con longitud igual o ligeramente mayor que la del espécimen. Se

centra una de las tiras de carga sobre la platina inferior. Se coloca el espécimen sobre la tira y se alinea en tal forma, que las líneas marcadas en los extremos del cilindro esten verticales y centradas con relación a las tiras. Se coloca la segunda tira de carga longitudinalmente sobre el cilindro, centrándolo con relación a las líneas marcadas en los extremos del mismo y se procederá entonces a aplicar la carga en forma continua sin impacto a velocidad constante hasta la ruptura del espécimen, de tal forma que se logren esfuerzos de tensión por compresión diametral de 5 a 15 Kg/ cm².

Una vez llevado el espécimen a la ruptura se anota la lectura de la carga máxima y se procede a obtener el esfuerzo de tensión por medio de la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2P}{\pi Ld}$$

Donde:

T= Resistencia a la tensión por compresión diametral en kg/cm².

P= Carga máxima aplicada a la ruptura en kg.

L= Longitud en cm.

d= Diámetro en cm.

3.4.- CEMENTO.

3.4.1.- PRUEBAS FISICAS.

3.4.1.1.- PERMEABILIDAD AL AIRE, APARATO DE BLAINE.

Los aparatos y equipo que se requieren para la realización de esta prueba son:

*El aparato "Blaine" que se emplea consta de una serie de dispositivos que tienen como finalidad hacer pasar una determinada cantidad de aire, a través de una capa preparada de cementante de porosidad definida. El número y tamaño de los poros está en función del tamaño de las partículas contenidas en la capa de cementantes y determina la velocidad del paso del aire a través de dicha capa.

*Celda de permeabilidad que consiste en un cilindro rígido, de metal inoxidable que no se amalgame con el mercurio, con un diámetro interior de 12.7 . La parte inferior de la celda debe ajustar herméticamente con la parte superior del manómetro. En el interior de la celda se encuentre un reborde de 1mm de ancho para soportar un disco metálico perforado.

*Disco. Este es de metal inoxidable con espesor de 0.9 mm y de 30 a 40 orificios de 1 mm de diámetro, distribuidos simétricamente en la superficie. Debe ajustar perfectamente.

***Embolo. También de metal inoxidable. debe ajustar en la celda con una holgura máxima de 0.1 mm.**

***Papel filtro. Con diámetro igual al interior de la celda.**

***Manómetro. Consiste de un tubo en "U", de vidrio, de 9mm de diámetro exterior. La pared superior de una de las ramas debe ajustar con las celdas. Esta rama debe tener una marca grabada alrededor del tubo , a una distancia de 125 a 145 mm de la parte inferior del brazo lateral; a partir de esta marca y hacia arriba tendrá otras marcas, a las distancias de 15, 70, y 110 mm . El brazo lateral sirve para succionar el aire de la rama del manómetro conectada a la celda de permeabilidad; debe estar provisto de una llave que haga un cierre hermético.**

***Líquido para el manómetro.**

***Cronómetro.**

Se obtiene el peso específico, como se describe en 3.4.1.2. y se multiplica por una constante obtenida al momento de la calibración con lo cual se obtendrá el peso que se utilizará de muestra.

Se coloca un disco de papel filtro en la parte inferior de la celda de permeabilidad, se pesa la cantidad de cemento y se coloca en la celda; encima de esto

se coloca otro disco de papel filtro y posteriormente se coloca el ámbolo.

Se dan unos golpecitos en la celda de permeabilidad y se coloca en el tubo del manómetro de tal forma que se obtenga una conexión hermética.

El aire contenido en la rama del manómetro donde se coloca la celda se elimina lentamente hasta que el líquido alcance la marca más alta. Luego se cierra la llave. Se arranca el cronómetro en el momento en que el fondo del menisco del líquido del manómetro llegue a la segunda marca, es decir a la inmediata inferior a la más alta, y el cronómetro se detiene en el momento en que el fondo del menisco llegue hasta la tercera marca. Se anota el intervalo de tiempo medido y se registra en segundos.

Para la determinación de finos se multiplica el tiempo obtenido por una constante del aparato calculada en el momento de la calibración del mismo; esta constante se calcula de la forma siguiente:

$$K = \frac{S_p}{T_p}$$

Donde:

S_p = Valor de la superficie específica de la muestra patrón usada en la calibración del aparato, en cm^2/g

T_p = Intervalo de tiempo, en segundos, que tarda en descender el menisco del líquido del manómetro, de la segunda a la tercera marca, en la calibración del aparato con la muestra patrón.

De tal manera que la determinación de finos será igual a:

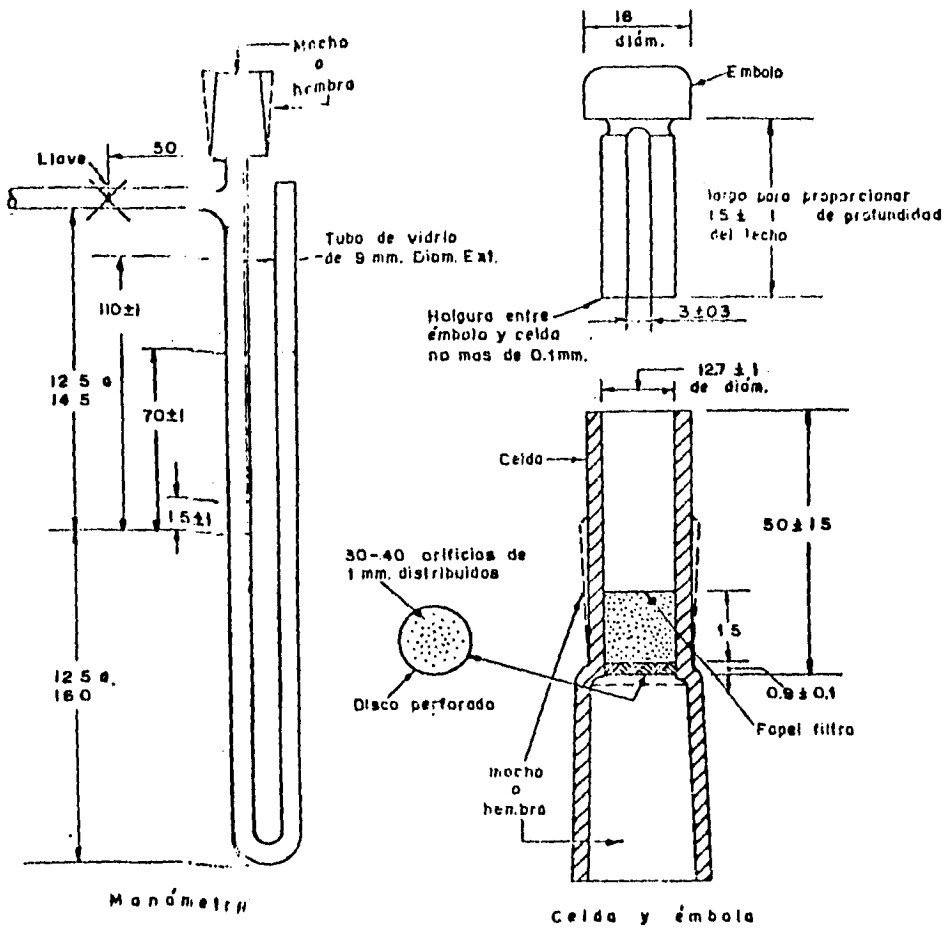
$$S = \frac{K}{T}$$

donde:

S = Superficie específica o determinación de finos de la muestra de prueba.

K = Constante calculada anteriormente

T = Intervalo de tiempo, en segundos, que tarda en descender el menisco del líquido del manómetro, de la segunda a la tercera marca, con la muestra de prueba.



APARATO DE BLAINE.

3.4.1.2.- PESO ESPECIFICO.

Para determinar el peso específico de los cementantes hidráulicos se procede de la siguiente forma:

Los aparatos y equipo necesario es el siguiente:

*** Frasco de Le Chatelier**

*** Líquido libre de agua con peso específico no menor de 0.730 g/ml**

Se llena el frasco con el líquido a un nivel comprendido entre cero y un mililitro. Se debe secar la parte interior del frasco arriba del nivel del líquido en caso necesario. La primera lectura se registra después de sumergir el frasco en baño de agua.

Se pesan 60 g de cementante y se introduce en pequeñas porciones. Para desalojar el aire que se haya atrapado al colocar el cementante en el líquido, se coloca el tapón y se hace girar en posición inclinada sobre una superficie plana que evite la ruptura del frasco.

La segunda lectura se debe tomar estando el líquido en la parte graduada superior y después de sumergir el frasco en el baño de agua durante un tiempo suficiente para estabilizar la temperatura.

La diferencia entre la lectura inicial y final representa el volumen del líquido desplazado por el peso del cementante empleado en la prueba.

$$P_e = \frac{P_c}{V}$$

donde:

P_e = Peso específico.

P_c = Peso del cementante en gramos.

V = Volumen del líquido desplazado, en ml.

3.4.1.3.- CONSISTENCIA NORMAL.

El procedimiento para la determinación de la consistencia normal de los cementantes hidráulicos empleando el aparato de Vicat es el siguiente:

Los aparatos y equipo requerido consta de lo siguiente:

***Aparato de Vicat:** cuyos requisitos por llenar son los siguientes:De acuerdo a la figura ; la barra móvil B, de masa igual a 300 g,el extremo C de la barra de penetración tiene un diámetro de 10 mm y una longitud mínima de 550 mm; el extremo lleva una aguja de 1 mm de diámetro y 50 mm de longitud.

La barra B puede subirse, bajarse y colocarse en cualquier posición por medio del tornillo E y tiene un indicador ajustable F, que se desplaza sobre la escala graduada en mm la cual esta fija al soporte A. La pasta se coloca dentro de un anillo tronco-cónico rígido que descansa sobre una placa cuadrada de vidrio plano de 10 cm por lado.

La barra B debe ser de acero inoxidable, al igual que el anillo este último además debe ser impermeable con diámetro interior de 70 mm en la base inferior , 60 mm en la base superior y 40 mm de altura.

El procedimiento de prueba es el siguiente:

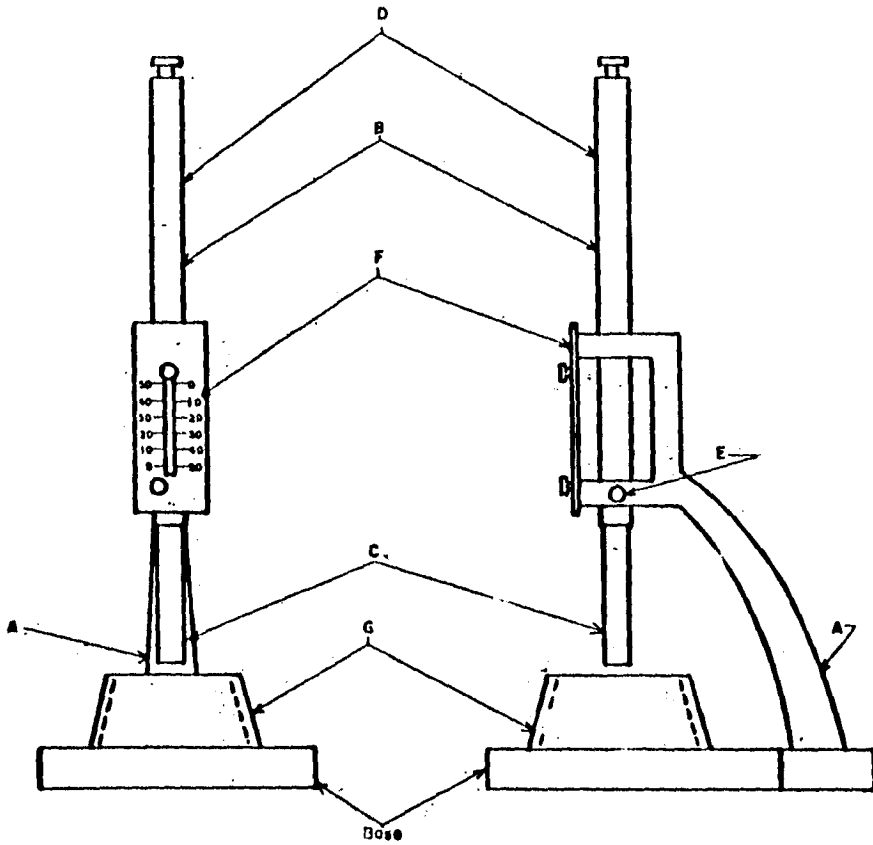
Se forma una pasta de cemento mezclando 500 g de cemento con agua, con

las manos enguantadas se forma con la pasta una forma esférica que se lanzará de una mano a la otra 6 veces manteniendo las manos separadas a una distancia de 15 cm. Después de esto con la esfera en la palma de la mano y el anillo tronco-cónico en la otra, se introduce la pelota dentro del anillo por la base mayor, comprimiéndola hasta llenarlo por completo. El sobrante de la pasta sobre la base mayor se quita con la palma de la mano. En seguida se coloca el anillo por su base mayor sobre la placa de vidrio y el sobrante de pasta se quita de la base menor.

Todo el conjunto constituido por la placa, pasta y anillo se lleva al aparato, centrándolo respecto a la barra móvil B, la cual debe ponerse en contacto por su extremo de mayor diámetro (barra de penetración C) sobre la pasta de cemento, fijándola después con el tornillo de presión E. En seguida se hace una lectura inicial y se suelta la barra a los 30 segundos a partir del instante en que se terminó de hacer la pasta. El aparato debe permanecer libre de vibraciones durante la prueba.

Se realizan varias pruebas con distinto contenido de agua hasta alcanzar la consistencia normal. Se considera que la pasta tiene una consistencia normal cuando la barra de penetración baje 10 mm a partir de la superficie original en un intervalo de 30 segundos contados desde el instante en que se soltó dicha barra.

La cantidad de agua que se requiere para obtener la consistencia normal se expresa en por ciento % de la masa de cemento seco.



- A.- Soporte
- B.- Vástago
- C.- Bure
- D.- Contrapeso
- E.- Tambo fijador
- F.- Escala graduada, (50 mm de longitud, graduada en mm)
- G.- Molete tronco-cónico

APARATO DE VICAT.

3.4.1.4.- TIEMPO DE FRAGUADO VICAT.

La determinación del tiempo de fraguado de una pasta de cementantes hidráulicos por el método de Vicat, midiendo su resistencia a la penetración es como a continuación se describe:

El equipo requerido es el siguiente:

*Aparato Vicat con características siguientes:

Peso de barra móvil B ----- 300 g
Diámetro del extremo C----- 10 mm
Diámetro de la aguja de penetración D----- 1 mm
Diámetro inferior del anillo en la base inferior--- 7 cm
Diámetro inferior del anillo en la base superior--- 6 cm
Altura del anillo----- 4 cm

Se forma una pasta de cemento mezclando 500 g de cemento con agua, la preparación de la probeta se realiza posteriormente, con las manos enguantadas se forma con la pasta una forma esférica que se lanzará de una mano a la otra 6 veces manteniendo las manos separadas a una distancia de 15 cm. Después de esto con la esfera en la palma de la mano y el anillo tronco-cónico en la otra, se introduce la pelota dentro del anillo por la base mayor, comprimiéndola hasta llenarlo por completo. El sobrante de la pasta sobre la base mayor se quita con la palma de la mano. En seguida se coloca el anillo por su base mayor sobre la placa de vidrio y el sobrante de pasta se quita de la base menor.

Una vez hecha la probeta, se coloca en la cámara húmeda durante 30 minutos, y posteriormente a cada 15 minutos se determina la penetración de la aguja de 1 mm de diámetro, hasta que se obtenga una penetración de 25 mm o menor.

Para la determinación de la penetración se baja la aguja D hasta que quede en contacto con la superficie de la pasta. Se fija el tornillo E y se coloca el indicador F en la parte superior de la escala, o se toma una lectura inicial. Se afloja el tornillo E con lo que la varilla queda suelta; a los 30 segundos se hace la lectura para determinar la penetración de la aguja. Las penetraciones no deben hacerse a una distancia menor a 6 mm unas de otra y ninguna de ellas se debe hacer a una distancia menor de 9 mm de la parte interior del molde. Se registran todas las lecturas de las penetraciones y por interpolación se determina el tiempo correspondiente a la penetración de 25 mm; este es el tiempo de fraguado inicial.

El tiempo de fraguado final es aquel en el que la misma aguja no penetra visiblemente en la pasta.

3.4.1.5.- SANDAD ACELERADA EN AUTOCLAVE.

Expansión

Contracción

Para esta prueba se requiere de los siguientes aparatos y equipo:

*** Moldes:** Los moldes deben proporcionar probetas de sección cuadrada de 2.54 cm. por lado y longitud efectiva de 25.4 cm. Serán de acero o de metal duro que no sea fácilmente atacado por la pasta de cemento. Cada una de las placas extremas de los moldes debe estar acondicionada

***Autoclave:** Consiste en una caldera de vapor de alta presión provista de un regulador automático de presión y de una válvula de seguridad. El autoclave deberá estar constituido de tal modo que en el término de una hora contada a partir del momento en que se haya suspendido el calentamiento la presión baje de 20.70 Kg/cm² hasta una presión menor de 0.7 Kg/cm². El regulador automático de presión deberá ser capaz de mantener una presión de 20.74 Kg/cm². Debe estar provisto de una válvula de escape que permita la salida de aire al principio del periodo de calentamiento y sirva para desalojar cualquier remanente de presión de vapor al final del periodo de enfriamiento en una hora.

***Comparador de longitudes.**

La cantidad de materiales para una operación común será de 500 g de camanto y suficiente agua para obtener una mezcla de consistencia normal.

Se engrasan los moldes y se colocan los puntos de referencia, cuidando se conserven bien limpios y libres de aceite.

Después de hacer la mezcla se moldea la probeta en una o dos capas hasta que se logre obtener una probeta homogénea; luego de consolidarse la capa superior, se corta la pasta a la altura de los bordes superiores del molde y se alisa la superficie con la cuchara.

Inmediatamente después de llenado el molde se colocará en la cámara húmeda.

Las probetas se quedarán en sus moldes y dentro de la cámara húmeda cuando menos durante 20 horas, si llegan a sacarse de los moldes antes de las 24 horas, deberán conservarse dentro de la cámara húmeda hasta que se sometan a la prueba.

El procedimiento será el siguiente:

A las 24 horas después del moldeado, las probetas se sacarán de la cámara húmeda, se miden sus longitudes y se pondrán dentro de la autoclave, colocadas en un bastidor apropiado para que sus cuatro costados queden expuestos al vapor saturado.

Al principiar el período de calentamiento la presión deberá ser de 20.74 kg/cm² que deberá mantenerse durante tres horas.

Al fin del período de tres horas se suspende el calentamiento y se enfría el autoclave.

Al sacar las probetas del autoclave se dejarán enfriar durante quince minutos después de lo cual se medirán sus longitudes.

La diferencia entre la longitud de la probeta antes y después de pasar por el autoclave, se designará como la dilatación del cemento en el autoclave. Una contracción se indicará como dilatación negativa (-) al por ciento de dilatación encontrado.

3.4.2.- PRUEBAS MECANICAS.

3.4.2.1.- RESISTENCIA A LA TENSION DE BRIQUETAS DE MORTERO.

Los aparatos y equipo necesarios para esta prueba son los siguientes:

*Balanzas.

*Pesas

*Cribas. Las empleadas serán las del número 6.5 y 10.

*Probetas graduadas.

*Moldes. En el caso de esta prueba debido a su forma especial, reciben el nombre de "briquetas", como se muestran en la figura 3.4.2.

*Cuchara. La cuchara será de hoja de acero, de 10 a 15 cm de longitud con aristas rectas.

*Máquina de prueba. Esta deberá ser adecuada para pruebas de tensión y tener un régimen de aplicación de carga uniforme de 270 kg/minuto.

Los materiales a utilizar serán los siguientes:

*Arena tipo. Debe ser de cuarzo de grano redondeado y despulido que pase la malla No. 6.5 y sea retenida por la No. 10.

La preparación de la muestra tendrá el siguiente proporcionamiento:

Las proporciones del mortero de prueba serán de una parte de cemento y tres de arena estándar, en peso. Las cantidades de material seco por mezclar para seis briquetas serán no menos de 1,000 gramos ni más de 1,200 gramos y para nueve no menos de 1,500 gramos ni más de 1800 gramos.

Los materiales secos ya pesados se mezclan en una superficie lisa y no absorbente, formándose en su centro un crater. Se vierte agua limpia en dicho crater y el material se voltea de fuera hacia adentro por lapso de 30 segundos con ayuda de la cuchara. Se dejan transcurrir 30 segundos, durante este tiempo el mortero seco de las orillas del cono se colocará sobre el resto del mortero a fin de reducir la evaporación y mejorar la absorción, luego se amasa y golpea vigorosamente la pasta, mezclándola durante un minuto y medio con las manos enguantadas.

Los moldes se cubren con una capa delgada de aceite y se procede a llenarlos con el mortero. En seguida se comprimirá el mortero con los pulgares, aplicándolos alternativamente 12 veces a cada biqueta en puntos distribuidos de tal manera que abarquen toda la superficie; inmediatamente se colocará mortero en exceso sobre el molde y se enrasará con la cuchara.

Luego se cubre el molde con una placa metálica aceitada; apretando el molde entre las dos placas con las manos se voltea el conjunto girando sobre el eje longitudinal del molde. Se quita la placa superior y se repiten en el mismo orden las operaciones de llenar, comprimir con los pulgares, volver a llenar y enrasar.

Después de fabricarse las briquetas se colocan en la cámara húmeda durante 20 a 24 horas; las briquetas deberán permanecer dentro de los moldes.

El procedimiento será el siguiente:

Una vez retiradas de la cámara húmeda las briquetas se someterán a la prueba. Si se saca más de una briketa de la cámara húmeda para la prueba de 24 horas, éstas se cubrirán con un trapo húmedo a fin de evitar pérdidas por evaporación de agua.

Para determinar la resistencia a la tensión las briquetas se centran a las mordazas de la máquina y se aplica la carga en forma uniforme a razón de 270 kg/minuto; la carga de ruptura entre el área de la sección de la briketa nos proporcionan la resistencia a la tensión.

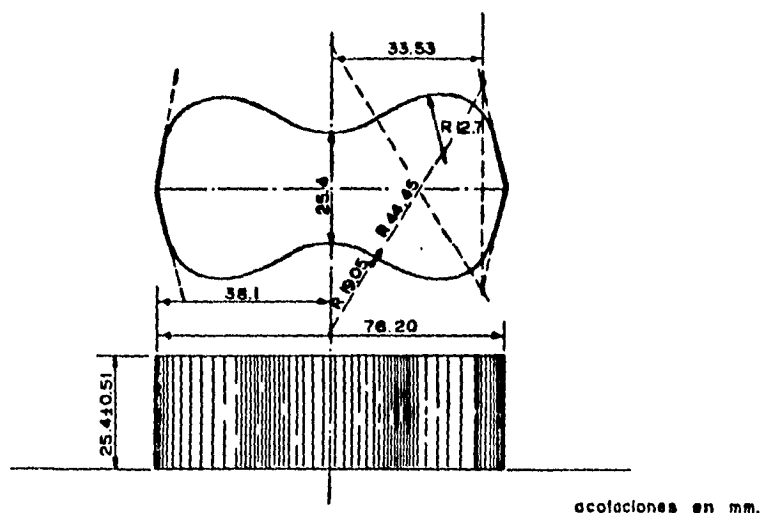


Fig. 3.4.2

3.4.2.2.- RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CUBOS DE MORTERO.

Los aparatos y equipos para la realización de esta prueba son los siguientes:

- *Balanza.**
- *Pesas.**
- *Cribas.**
- *Probetas de vidrio graduadas.**
- *Mezcladora. Que deberá ser mecánica.**
- *Mesa de fluidez.**
- *Moldes para elaboración de cubos.**
- *Pisón de hule sintético.**
- *Cuchara de hoja de acero, de 10 a 15 cm con aristas rectas.**
- *Máquina de prueba.**

Los materiales a utilizar son los siguientes:

- *Arena tipo, graduada.**

La preparación de los moldes se realiza de la siguiente forma; las caras interiores de los moldes se cubren con una capa delgada de grasa.

Los moldes se colocan sobre una placa de superficie plana y de material no absorbente, a la cual se le aplican una capa delgada de aceite.

La proporción de los materiales secos para elaborar el mortero estándar, debe consistir de una parte de cemento y 2.75 de arena tipo, graduada, con relación agua - cemento de 0.485.

Para la determinación de la fluidez, la parte superior del platillo de la mesa debe limpiarse y secarse cuidadosamente y colocarse el molde al centro. Se pone en el molde una capa de mortero aproximadamente de 25 mm de espesor que se compacta 20 veces con el pisón. La presión para compactar debe ser la necesaria para asegurar un llenado uniforme del molde. A continuación el molde se llena totalmente y se compacta nuevamente como se especifica para la primera capa. Se enrasa la superficie del mortero con una cuchara de moldeo. Se limpia y se seca la parte del platillo de la mesa de fluidez.

Al transcurrir un minuto a partir de haber terminado el mezclado, se levanta el molde; el platillo se deja caer, 25 veces en 15 segundos, de una altura de 12.7 milímetros. La fluidez es el incremento del diámetro de la base original. El diámetro considerado del mortero debe ser el promedio de por lo menos cuatro mediciones de diámetro a 45° aproximadamente.

Inmediatamente después de terminar la prueba de fluidez el mortero que se empleó en la misma se regresa al recipiente de mezclado. Rápidamente todo el mortero adherido a las paredes del recipiente citado se incorpora al resto del mortero mediante la cuchara. Se continúa el mezclado por 15 segundos a la velocidad media (285 rpm). El mortero adherido a la paleta se incorpora al mortero del recipiente. La

preparación de los cubos se empieza dentro de un tiempo mayor de 2 minuto 30 segundos a partir de haber terminado el mezclado inicial del mortero. Se coloca en los compartimientos del molde de los cubos una capa de mortero de 25 mm de espesor aproximadamente y luego el mortero de cada compartimiento se compacta con el pizón, 32 veces en unos 10 segundos en 4 vueltas. La iniciación de cada vuelta se efectúa a 90° con respecto a la siguiente (o a la anterior) y consiste en 8 golpes adyacentes repartidos sobre la superficie. La presión para compactar el cibo debe ser tan necesaria para asegurar un llenado uniforme del molde. Las 4 vueltas (32 golpes) se deben completar en un cubo antes de empezar con el siguiente. Una vez terminado el apisonado de la primera capa en todos los cubos, los compartimientos se deben llenar utilizando el resto del mortero y se vuelven a compactar tal como se hizo en la primera capa.

Durante el compactado de la segunda capa, todo el mortero que sobresale del molde después de cada vuelta, se regresa al compartimiento con la mano enguantada antes de iniciar la siguiente vuelta de apisonado.

Después de terminar la compactación, el mortero sobresaliente se extiende suavemente con la cuchara; luego, para nivelar el mortero de los moldes, para que tengan un espesor uniforme, se enrasa la superficie al borde superior del molde, y después se elimina el exceso haciendo un corte con la orilla de la cuchara.

Inmediatamente después de elaborar los cubos, con su molde y sobre su placa, se colocan en la cámara húmeda. Los cubos deben permanecer dentro de los moldes

durante 20 a 24 horas.

Para la ruptura de los cubos se realizará el siguiente procedimiento:

Al cumplir la edad de prueba los cubos se retiran de la cámara húmeda y se prueban de inmediato.

La carga se debe aplicar sobre las caras de los cubos que estuvieron en contacto con las paredes verticales del molde. El cubo se coloca en la máquina centrándolo con respecto a la placa superior.

Se registra la carga máxima (P_{max}) indicada por la máquina y se calcula resistencia a la compresión (R), en kg/cm^2 , dividiendo dicha carga entre el área de la sección transversal del cubo $R = P_{max}/S$.

CAPITULO 4

DISEÑO Y DOSIFICACION DE MEZCLAS DE C.C.R.

Este capítulo consiste en describir el método seguido para la elaboración de las mezclas de concreto compactado con rodillos CCR; el diseño se realizó de acuerdo a las recomendaciones del American Concrete Institute (ACI 211.3-75) revisado en 1987. Para la obtención de la dosificación se utilizaron los resultados de calidad obtenidos en el capítulo 2; de los materiales empleados para cada mezcla. En función de la calidad del material se realizaron ajustes o correcciones al diseño de la mezcla como son los debidos a absorción, humedad y contaminación de agregados. Los métodos para realizar estas correcciones se mencionarán más adelante.

Se incluye también el proporcionamiento para concreto convencional utilizando como agregado el material NO.1 descrito en el capítulo 2; dicho proporcionamiento se realizó de acuerdo a la práctica para dosificar concreto normal publicada por el IMCYC.

Finalmente se presentará un resumen de los proporcionamientos obtenidos para cada mezcla de CCR y para la de concreto hidráulico convencional; así como las resistencias a compresión, tensión y flexión obtenidas del ensaye a los 7 y 28 días de edad de cada una de las mezclas elaboradas; con dichos resultados se realizará una comparación referente a resistencias y economía de mezclas, entre el concreto hidráulico convencional y el concreto compactado con rodillos CCR.

4.1.- PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CCR.

4.1.1.- MATERIAL No.1 : AGREGADO DE RIO.

Cantidad de agua:

De acuerdo a tabla 4.1a. considerando la descripción de la mezcla como extremadamente seca y un tamaño máximo de agregado de 1"; obtenemos que se requiere de una cantidad de agua de aproximadamente 135 Kg/m³

$$*AGUA = 135 \text{ LTS.}$$

Cantidad de cemento:

De acuerdo a tabla 4.2a. se obtiene la relación agua-cemento; mediante la resistencia de proyecto a la compresión del concreto a los 28 días de edad; considerando o no aire incluido.

De tal forma que para una resistencia a la compresión de 350 kg/cm² y considerando aire incluido tenemos que la relación agua-cemento = 0.40

La cantidad de cemento se calculará con la cantidad de agua y la relación agua-cemento que se obtuvieron; quedando de la siguiente forma:

$$c = A/0.40 ; c = 135/0.40 = 337.5$$

$$*CEMENTO = 340 \text{ Kg/m}^3$$

Cantidad de agregados:

Para calcular la cantidad de agregado grueso que se requiere será necesario del auxilio de la tabla 4.3a. la cual con el tamaño máximo de agregado que se utilizará, que en este caso es de una pulgada (1") y con el módulo de finura de la arena que es de 2.35 se obtiene el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto de consistencia plástica; pero como el C.C.R. es un concreto cuya consistencia es prácticamente cero se utilizará la tabla 4.4a. para ajustar por consistencia; para ello se requiere del dato que se obtuvo en la tabla A2.3.5.1 (a) que para este caso fue de 0.72 , y además se deberá indicar la consistencia deseada que en este caso será de extremadamente seca , además del tamaño máximo de agregado grueso; de esta forma se obtendrá el porcentaje de ajuste para el volumen de agregado grueso y en este caso será de 140 por ciento. Con este dato se obtiene el volumen de agregado grueso multiplicando el volumen obtenido en la tabla 4.3a. por el 140 por ciento obtenido en la otra tabla quedando $0.71 * 140 = 0.994$.

Para obtener el peso de agregado grueso se pueden utilizar dos criterios: en el primer criterio y menos confiable se multiplicará su peso volumétrico compactado por el volumen que se obtuvo mediante las tablas 4.3a. y 4.4a que en este caso es de $1717 * 0.994 = 1706.70$ Kg; el otro criterio que es más aproximado se calculará obteniendo el peso volumétrico máximo óptimo (P.V.M.O) como se describe en el capítulo 3; que para este caso resultó de 2093 con una relación grava arena de 50/50; de tal forma el peso del agregado grueso se obtendrá multiplicando el peso volumétrico máximo óptimo (P.V.M.O) por el porcentaje de grava que en este caso es de 50%. quedando como sigue: $2093.0 * 0.50 = 1046.5$

Con las cantidades de cemento, agua, agregado grueso, y aire incluido se calculará la cantidad de arena contenida; para realizar esto tomaremos en cuenta que para el proporcionamiento de volúmenes en el agregado grueso utilizaremos el criterio donde se utiliza el peso máximo óptimo de tal forma que:

VOLUMEN DE CEMENTO..... $340/(2.95 * 1000) = 0.115 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE AGUA..... $135/(1.00 * 1000) = 0.135 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE GRAVA..... $1046.5/(2.6 * 1000) = 0.403 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE AIRE..... 0.050 m^3 .
VOLUMEN TOTAL DE INGREDIENTES SIN ARENA..... 0.696 m^3 .
VOLUMEN DE ARENA REQUERIDO..... $1.000 - 0.703 = 0.297 \text{ m}^3$.
PESO REQUERIDO DE ARENA SECA = $0.297 * 2.53 * 1000 = 751.4 \text{ Kg}$.

***ARENA = 751.4 Kg/m^3**

***GRAVA = 1046.5 Kg/m^3**

De tal forma que las cantidades finales para un m³ de mezcla de concreto si los agregados estuvieran secos será:

CEMENTO..... = 340.00
AGUA REQUERIDA..... = 135.00
GRAVA..... = 1046.50
ARENA..... = 751.50

Las correcciones realizadas a esta mezcla se detallan al final del capítulo.

4.1.2.- MATERIAL No.2: CALIZA

Cantidad de agua:

De acuerdo a tabla 4.1a. considerando la descripción de la mezcla como extremadamente seca y un tamaño máximo de agregado de 1"; obtenemos que se requiere de una cantidad de agua de aproximadamente 135 Kg/m^3

$$\text{*AGUA} = 135 \text{ LTS}$$

Cantidad de cemento:

De acuerdo a tabla 4.2a. se obtiene la relación agua-cemento; mediante la resistencia de proyecto a la compresión del concreto a los 28 días de edad; considerando o no aire incluido.

De tal forma que para una resistencia a la compresión de 350 kg/cm^2 y considerando aire incluido tenemos que la relación agua-cemento = 0.40

La cantidad de cemento se calculará con la cantidad de agua y la relación agua-cemento que se obtuvieron; quedando de la siguiente forma:

$$c = A/0.40 ; c = 135/0.40 = 337.5$$

$$\text{*CEMENTO} = 340 \text{ Kg/m}^3$$

Cantidad de agregados:

Para calcular la cantidad de agregado grueso que se requiere será necesario del auxilio de la tabla 4.3a. la cual con el tamaño máximo de agregado que se utilizará, que en este caso es de una pulgada (1") y con el módulo de finura de la arena que es de 2.6 se obtiene el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto de consistencia plástica; pero como el C.C.R. es un concreto cuya consistencia es prácticamente cero se utilizará la tabla 4.4a. para ajustar por consistencia; para ello se requiere del dato que se obtuvo en la tabla 4.3a que para este caso fue de 0.69 , y además se deberá indicar la consistencia deseada que en este caso será de extremadamente seca , además del tamaño máximo de agregado grueso; de esta forma se obtendrá el porcentaje de ajuste para el volumen de agregado grueso y en este caso será de 140 por ciento. Con este dato se obtiene el volumen de agregado grueso multiplicando el volumen obtenido en la tabla 4.3a. por el 140 por ciento obtenido en la otra tabla quedando $0.69 * 140 = 0.966$.

Para obtener el peso de agregado grueso se pueden utilizar dos criterios: en el primer criterio y menos confiable se multiplicará su peso volumétrico por el volumen que se obtuvo mediante las tablas 4.3a. y 4.4a que en este caso es de $1556 * 0.966 = 1503$ Kg; el otro criterio que es más aproximado se calculará obteniendo el peso volumétrico máximo óptimo (P.V.M.O) como se describe en el capítulo 3; que para este caso resultó de 1995 con una relación grava-arena de 60/40; de tal forma el peso del agregado grueso se obtendrá multiplicando el peso volumétrico máximo óptimo (P.V.M.O) por el porcentaje de grava que en este caso es de 60%. quedando como sigue: $1995 * 0.60 = 1197$.

Con las cantidades de cemento, agua, agregado grueso, y aire incluido se calculará la cantidad de arena contenida; para realizar esto tomaremos en cuenta que para el proporcionamiento de volúmenes en el agregado grueso utilizaremos el criterio donde se utiliza el peso máximo óptimo de tal forma que:

VOLUMEN DE CEMENTO..... $340/(2.87*1000) = 0.118 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE AGUA..... $135/(1.00*1000) = 0.135 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE GRAVA..... $1197/(2.6*1000) = 0.460 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE AIRE..... 0.050 m^3 .
VOLUMEN TOTAL DE INGREDIENTES SIN ARENA..... 0.763 m^3 .
VOLUMEN DE ARENA REQUERIDO..... $1.000-0.763 = 0.237 \text{ m}^3$.
PESO REQUERIDO DE ARENA SECA,.. $= 0.237*2.4*1000 = 581.0 \text{ Kg}$.

***ARENA = 581 Kg**

***GRAVA = 1197 Kg**

CEMENTO..... = 340.00
AGUA REQUERIDA..... = 135.00
GRAVA..... = 1197.00
ARENA..... = 581.00

A la mezcla se le realizaron correcciones por absorción y humedad de agregados el método seguido para dichas correcciones se explica al final de este capítulo.

4.1.3.- MATERIAL No.3: TEZONTLE.

Cantidad de agua:

De acuerdo a tabla 4.1a. considerando la descripción de la mezcla como extremadamente seca y un tamaño máximo de agregado de tres cuartos de pulgada 3/4"; obtenemos que se requiere de una cantidad de agua de aproximadamente 140 lts

$$*AGUA = 140 \text{ LTS}$$

Cantidad de cemento:

De acuerdo a tabla 4.2a se obtiene la relación agua-cemento; mediante la resistencia de proyecto a la compresión del concreto a los 28 días de edad; considerando o no aire incluido.

De tal forma que para una resistencia a la compresión de 350 kg/cm² y considerando aire incluido tenemos que la relación agua-cemento = 0.40

La cantidad de cemento se calculará con la cantidad de agua y la relación agua-cemento que se obtuvieron; quedando de la siguiente forma: $c = A/0.40$;
 $c = 140/0.40 = 350$

$$*CEMENTO = 350 \text{ Kg}$$

Cantidad de agregados:

Para calcular la cantidad de agregado grueso que se requiere será necesario del auxilio de la tabla 4.3a. la cual con el tamaño máximo de agregado que se utilizará, que en este caso es de una pulgada (3/4") y con el módulo de finura de la arena que es de 3.21 se obtiene el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto de consistencia plástica; pero como el C.C.R. es un concreto cuya consistencia es prácticamente cero se utilizará la tabla 4.4a para ajustar por consistencia; para ello se requiere del dato que se obtuvo en la tabla 4.3a. que para este caso fue de 0.60 , y además se deberá indicar la consistencia deseada que en este caso será de extremadamente seca , además del tamaño máximo de agregado grueso; de esta forma se obtendrá el porcentaje de ajuste para el volumen de agregado grueso y en este caso será de 145 porciento. Con este dato se obtiene el volumen de agregado grueso multiplicando el volumen obtenido en la tabla 4.3a. por el 145 porciento obtenido en la otra tabla quedando $0.60 * 145 = 0.87$.

Para obtener el peso de agregado grueso se pueden utilizar dos criterios: en el primer criterio y menos confiable se multiplicará su peso volumétrico por el volumen que se obtuvo mediante las tablas 4.3a. y 4.4a que en este caso es de $1091 * 0.87 = 949.17$ Kg; el otro criterio que es más aproximado se calculará obteniendo el peso volumétrico máximo óptimo como se describe en el capítulo 3; que para este caso resultó de 1497 con una relación grava-arena de 50/50 de tal forma que para el agregado grueso será de $1497 * 0.5 = 748.5$, cantidad que será el peso de agregado grueso; pero que en este caso se utilizará el calculado mediante el primer criterio.

Con las cantidades de cemento, agua, agregado grueso, y aire incluido se calculará la cantidad de arena contenida; para realizar esto tomaremos en cuenta que para el proporcionamiento de volúmenes en el agregado grueso utilizaremos el criterio donde se utiliza el peso máximo óptimo de tal forma que:

VOLUMEN DE CEMENTO..... 350/(2.88*1000) = 0.122 m³.
VOLUMEN DE AGUA..... 140/(1.00*1000) = 0.140 m³.
VOLUMEN DE GRAVA.....949.2/(1.92*1000) = 0.494 m³.
VOLUMEN DE AIRE.....0.060 m³.
VOLUMEN TOTAL DE INGREDIENTES SIN ARENA..... 0.816 m³.
VOLUMEN DE ARENA REQUERIDO.....1.000-0.816 = 0.184 m³.
PESO REQUERIDO DE ARENA SECA. = 0.184*2.32*1000 = 426.8 Kg.

***ARENA = 427 Kg**

***GRAVA = 993 Kg**

CEMENTO..... = 350.00
AGUA REQUERIDA..... = 140.00
GRAVA..... = 993.00
ARENA..... = 427.00

Cabe señalar que a la mezcla se le realizaron correcciones por absorción y humedad de agregados el método seguido para dichas correcciones se explica al final de este capítulo.

4.1.4.- MATERIAL No.4: ANDESITA

Cantidad de agua:

De acuerdo a tabla 4.1a. considerando la descripción de la mezcla como extremadamente seca y un tamaño máximo de agregado de 3/4"; obtenemos que se requiere de una cantidad de agua de aproximadamente 140 Kg/

$$\text{*AGUA} = 140 \text{ LTS}$$

Cantidad de cemento:

De acuerdo a tabla 4.2a. se obtiene la relación agua-cemento; mediante la resistencia de proyecto a la compresión del concreto a los 28 días de edad; considerando o no aire incluido.

De tal forma que para una resistencia a la compresión de 400 kg/cm² y considerando aire incluido tenemos que la relación agua-cemento = 0.34

La cantidad de cemento se calculará con la cantidad de agua y la relación agua-cemento que se obtuvieron; quedando de la siguiente forma: $c = A/0.34$;
 $c = 140/0.34 = 412$

$$\text{*CEMENTO} = 412 \text{ Kg}$$

Cantidad de agregados:

Para calcular la cantidad de agregado grueso que se requiere será necesario del auxilio de la tabla 4.3a la cual con el tamaño máximo de agregado que se utilizará, que en este caso es de (3/4") y con el módulo de finura de la arena que es de 3.27 se obtiene el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto de consistencia plástica; pero como el C.C.R. es un concreto cuya consistencia es prácticamente cero se utilizará la tabla 4.4a. para ajustar por consistencia; para ello se requiere del dato que se obtuvo en la tabla 4.3a. que para este caso fue de 0.60 , y además se deberá indicar la consistencia deseada que en este caso será de extremadamente seca , además del tamaño máximo de agregado grueso; de esta forma se obtendrá el porcentaje de ajuste para el volumen de agregado grueso y en este caso será de 145 por ciento. Con este dato se obtiene el volumen de agregado grueso multiplicando el volumen obtenido en la tabla 4.3a. por el 145 por ciento obtenido en la otra tabla quedando $0.60 * 145 = 0.870$

Para obtener el peso de agregado grueso se pueden utilizar dos criterios: en el primer criterio y menos confiable se multiplicará su peso volumétrico por el volumen que se obtuvo mediante las tablas 4.3a y 4.4a que en este caso es de $1585 * 0.87 = 1378.95$ Kg; el otro criterio que es más aproximado se calculará obteniendo el peso volumétrico máximo óptimo como se describe en el capítulo 3; que para este caso resultó de 1795 con una relación grava-arena de 40/60 de tal forma que para el agregado grueso será de $1795 * .40 = 718$, cantidad que será el peso de agregado grueso.

Con las cantidades de cemento, agua, agregado grueso, y aire incluido se calculará la cantidad de arena contenida; para realizar esto tomaremos en cuenta que para el proporcionamiento de volúmenes en el agregado grueso utilizaremos el criterio donde se utiliza el peso máximo óptimo de tal forma que:

VOLUMEN DE CEMENTO..... $412/(3.10*1000) = 0.133 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE AGUA..... $140/(1.00*1000) = 0.140 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE ADITIVO..... $= 0.003 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE GRAVA..... $718/(2.30*1000) = 0.312 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE AIRE..... 0.060 m^3 .
VOLUMEN TOTAL DE INGREDIENTES SIN ARENA..... 0.648 m^3 .
VOLUMEN DE ARENA REQUERIDO..... $1.000-0.648 = 0.352 \text{ m}^3$.
PESO REQUERIDO DE ARENA SECA... $= 0.355*2.3*1000 = 816.5 \text{ Kg}$.

***ARENA = 817.0 Kg**

***GRAVA = 718.0 Kg**

***ADITIVO = 3 LTS**

CEMENTO..... = 412.00

AGUA REQUERIDA..... = 140.00

GRAVA..... = 718.00

ARENA..... = 817.00

A la mezcla se le realizaron correcciones por absorción, humedad y contaminación de agregados, siguiendo el método descrito al final del capítulo.

4.2.- PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS CON CONCRETO CONVENCIONAL.

4.2.1.- MATERIAL No.1 : AGREGADO DE RIO.

Cantidad de agua:

De acuerdo a tabla 4.5a. considerando el revenimiento de la mezcla de 8cm. y un tamaño máximo de agregado de 1"; sin considerar aire incluido obtenemos que se requiere una cantidad de agua de aproximadamente 195 Kg/m³

$$\text{*AGUA} = 195 \text{ LTS.}$$

Cantidad de cemento:

De acuerdo a tabla 4.6a. se obtiene la relación agua-cemento; mediante la resistencia de proyecto a la compresión del concreto a los 28 días de edad; sin considerar aire incluido.

De tal forma que para una resistencia a la compresión de 350 kg/cm² y sin aire incluido tenemos que la relación agua-cemento=0.40

La cantidad de cemento se calculará con la cantidad de agua y la relación agua-cemento que se obtuvieron; quedando de la siguiente forma:

$$c = A/0.40 ; c = 195/0.40 = 406.5$$

$$\text{*CEMENTO} = 410 \text{ Kg/m}^3$$

Cantidad de agregados:

Para calcular la cantidad de agregado grueso que se requiere será necesario del auxilio de la tabla 4.7a. la cual con el tamaño máximo de agregado que se utilizará, que en este caso es de una pulgada (1") y con el módulo de finura de la arena que es de 2.35 se obtiene el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto de consistencia plástica. Con este dato se obtiene el volumen de agregado grueso.

Para obtener el peso de agregado grueso se pueden utilizar dos criterios: en el primer criterio y menos confiable se multiplicará su peso volumétrico compactado por el volumen que se obtuvo mediante la tabla 4.7a. que en este caso es de 1717 Kg; el otro criterio que es más aproximado se calculará obteniendo el peso volumétrico máximo óptimo (P.V.M.O) como se describe en el capítulo 3; que para este caso resultó de 2093 con una relación grava-arena de 50/50; de tal forma el peso del agregado grueso se obtendrá multiplicando el peso volumétrico máximo óptimo (P.V.M.O) por el porcentaje de grava que en este caso es de 50%. quedando como sigue: $2093.0 \cdot 0.50 = 1046.5$

Con las cantidades de cemento, agua, agregado grueso, y aire incluido se calculará la cantidad de arena contenida; para realizar esto tomaremos en cuenta que para el proporcionamiento de volúmenes en el agregado grueso utilizaremos el criterio donde se utiliza el peso máximo óptimo de tal forma que:

VOLUMEN DE CEMENTO..... $410/(2.95*1000) = 0.139 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE AGUA..... $195/(1.00*1000) = 0.195 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE GRAVA..... $1046.5/(2.6*1000) = 0.403 \text{ m}^3$.
VOLUMEN DE AIRE..... 0.015 m^3 .
VOLUMEN TOTAL DE INGREDIENTES SIN ARENA..... 0.752 m^3 .
VOLUMEN DE ARENA REQUERIDO..... $1.000-0.752 = 0.248 \text{ m}^3$.
PESO REQUERIDO DE ARENA SECA.. $= 0.248*2.53*1000 = 627.4\text{Kg}$.

***ARENA = 627 Kg/m³**

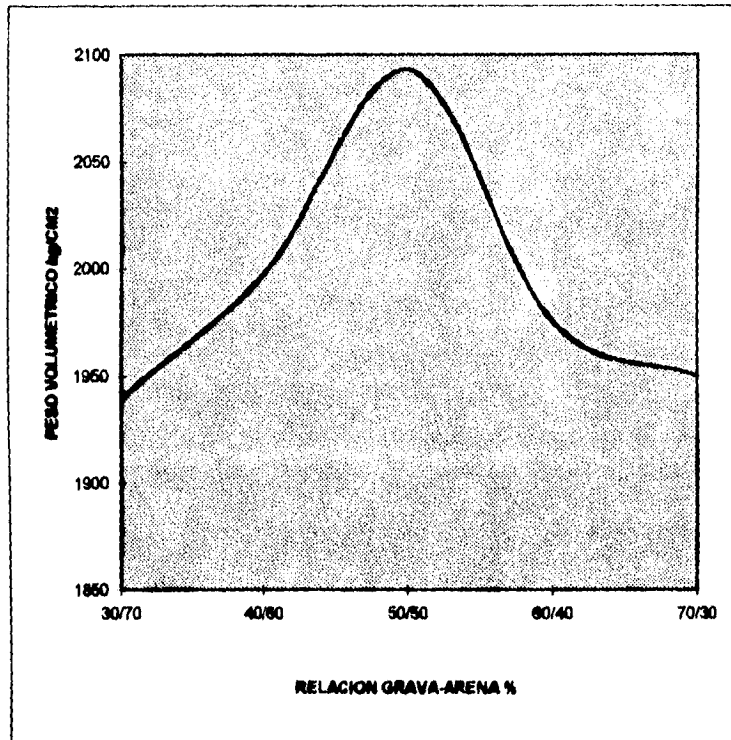
***GRAVA = 1046.5 Kg/m³**

De tal forma que las cantidades finales para un m³ de mezcla de concreto si los agregados estuvieren secos será:

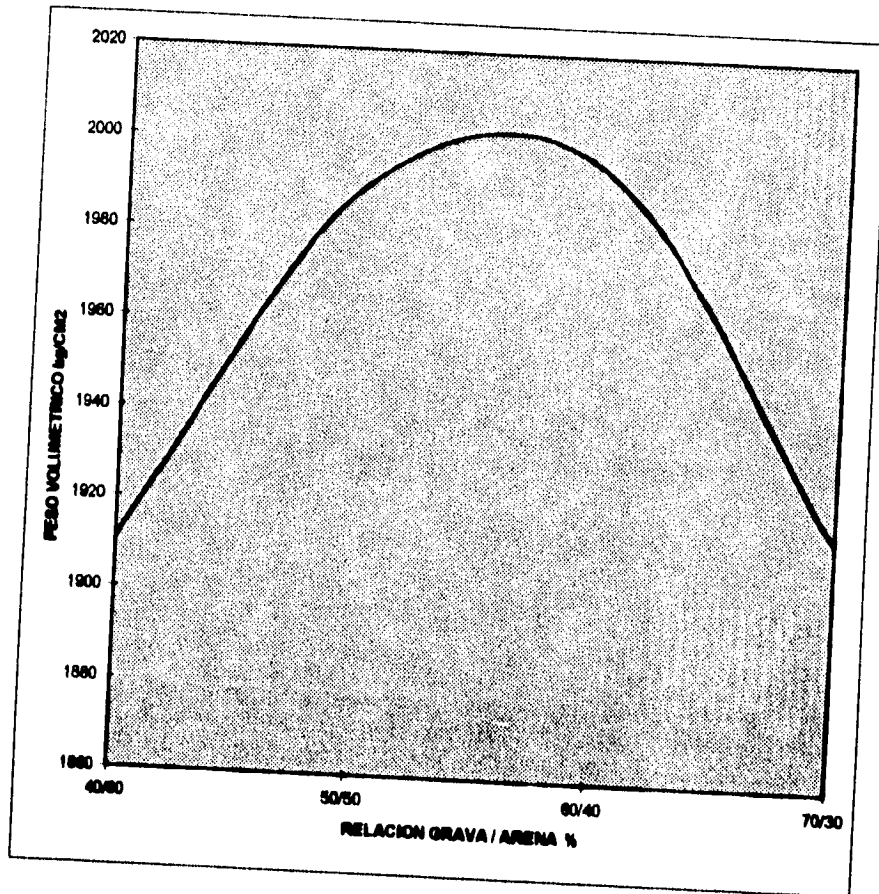
CEMENTO..... = 410.00
AGUA REQUERIDA..... = 195.00
GRAVA..... = 1046.50
ARENA..... = 627.00

Las métodos de correccion por absorción y humedad de agregados en esta mezcla se tratan al final de este capítulo.

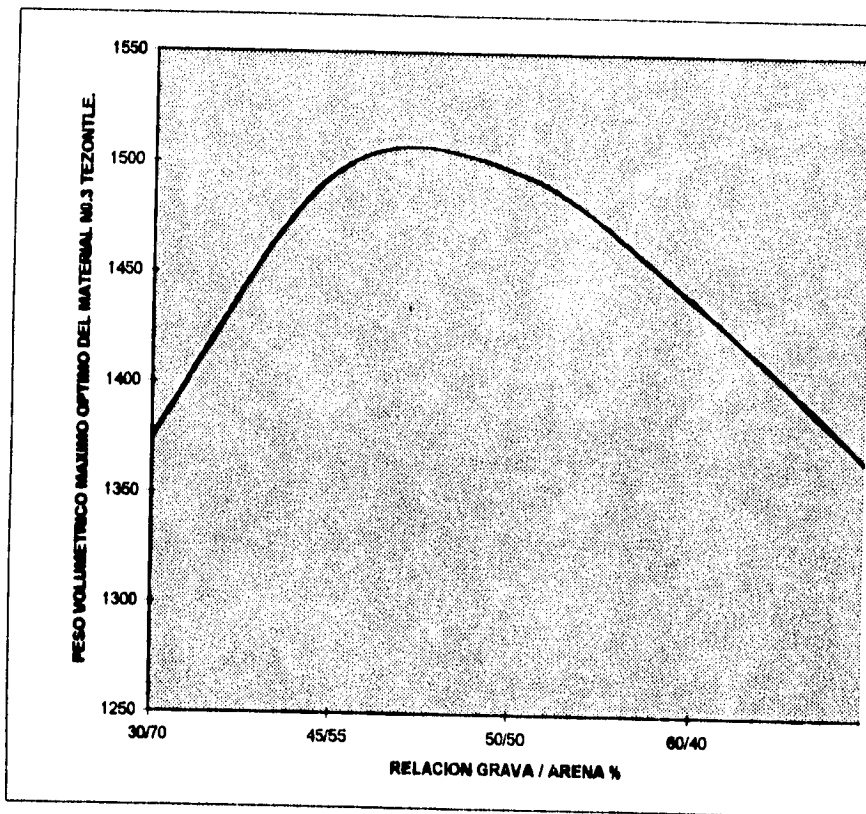
PESO VOLUMETRICO MAXIMO OPTIMO DEL MATERIAL N0.1 AGREGADO DE RIO



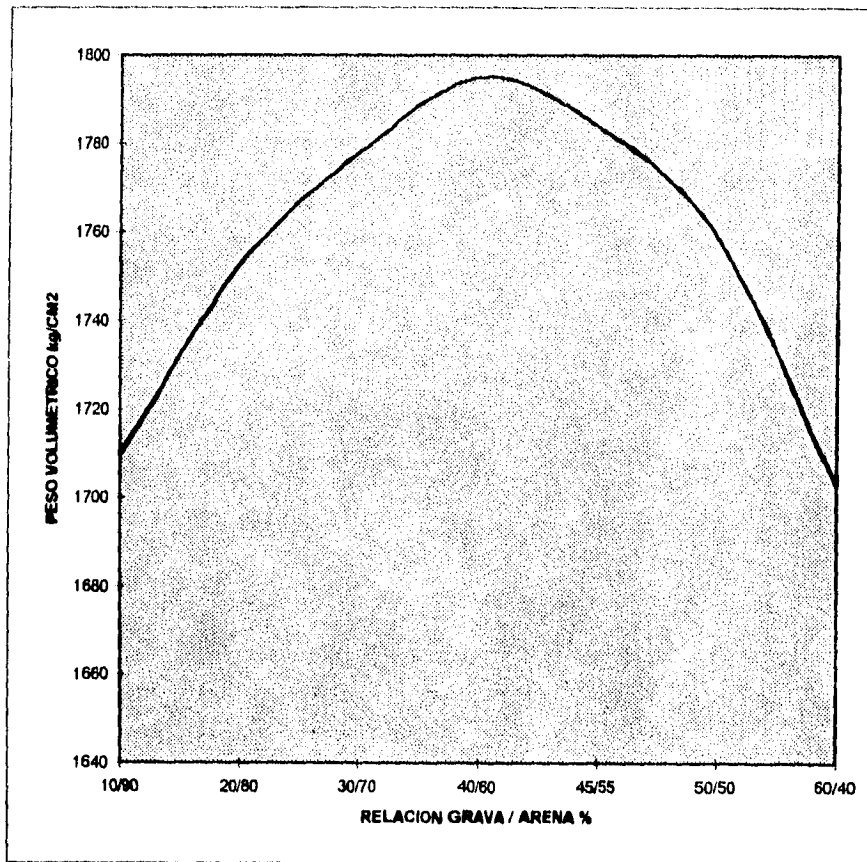
PESO VOLUMETRICO MAXIMO OPTIMO DEL MATERIAL NO.2 CALIZA.



PESO VOLUMETRICO MAXIMO OPTIMO DEL MATERIAL NO. 3 TEZONTLE.



PESO VOLUMETRICO MAXIMO DEL MATERIAL N0.4 ANDESITA.



REQUERIMIENTOS DE AGUA DE MEZCLADO PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADO

DESCRIPCION	REVENIMIENTO cm	CONSISTENCIA			CONTENIDO RELATIVO DE AGUA EN %	AGUA PARA CONCRETO (kg/m ³) PARA TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADO GRUESO EN mm				
		VEBE		FACTOR DE COMPACTACION		10	12.5	20	25	40
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO										
Extremadamente seca	-	32-18	112-56	-	78	180	170	160	150	140
Muy rígida	-	18-10	56-28	0.70	83	185	185	170	160	150
Rígida	0-3	10-5	28-14	0.75	88	200	195	180	170	155
Rígida-plástica	3-8	5-3	14-7	0.85	92	205	200	185	180	160
Plástica	8-13	3-0	7	0.91	100	225	215	200	195	175
Fluido	13-18	-	-	0.95	106	240	230	210	205	185
CANTIDAD APROXIMADA DE AIRE ATRAPADO EN UN CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO (EN %)						3	2.5	2	1.5	1
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO										
Extremadamente seca	-	32-18	112-56	-	78	155	150	140	135	125
Muy rígida	-	18-10	56-28	0.70	83	160	160	150	140	135
Rígida	0-3	10-5	28-14	0.75	88	170	170	160	150	140
Rígida-plástica	3-8	5-3	14-7	0.85	92	175	175	165	160	145
Plástica	8-13	3-0	7	0.91	100	190	190	180	175	160
Fluido	13-18	-	-	0.95	106	205	205	190	185	170
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO						8	7	6	5	4.5

ESTAS CANTIDADES DE AGUA DE MEZCLADO SON PARA USARSE EN LOS FACTORES DE CEMENTO PARA PRUEBAS DE ENSAYE. LOS AGREGADOS DEBEN SER DE BUENA FORMA GRANULAR Y GRADUADOS DENTRO DE LOS LÍMITES DE ESPECIFICACIONES ACEPTABLES.
 SI SE REQUIERE MÁS AGUA DE LA MOSTRADA, SE DEBE INCREMENTAR EL CEMENTO PARA MANTENER CONSTANTE LA RELACION AGUA-CEMENTO.
 SI SE REQUIERE MENOS AGUA EL CEMENTO SE DEBE MANTENER CONSTANTE.

TABLA 4.1 a

RELACION AGUA-CEMENTO PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A LA COMPRESION

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS DE EDAD (kg/cm ²)	RELACION AGUA-CEMENTO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	CONCRETO CON AIRE INCLUIDO
500	0,33	-
450	0,38	-
400	0,43	0,34
350	0,48	0,40
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,71

TABLA 4.2a

**VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA
CONSISTENCIAS PLASTICAS (8-13 cm REVENIMIENTOS)**

TAMANO MAXIMO DEL AGREGADO (mm)	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECO COMPACTO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES MODULOS DE FINURA DE LA ARENA			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.69	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70

TABLA 4.3a

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS

DESCRIPCION	CONSISTENCIA				VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECO COMPACTO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA TAM. MAX. DE AGREGADO (EXPRESADO EN % DE TABLA 4.3a)				
	EVENTMENT	VEDE	MESA DE CAIDA	FACTOR DE COMPACTACION	10mm	12.5mm	20mm	25mm	40mm
Extremadamente seca	-	32-18	112-88	-	180	170	145	140	130
Muy rígida	-	18-10	98-28	0.70	180	145	130	125	125
Rígida	0-3	10-8	28-14	0.75	135	103	115	115	120
Semi-rígida	3-8	5-3	14-7	0.85	108	105	104	108	108
Plástica	8-13	3-0	7	0.91	100	100	100	100	100
Fluida	13-18	-	-	0.95	87	98	100	100	100

TABLA 4.4a.

REQUERIMIENTOS DE AGUA DE MEZCLADO PARA DIFERENTES CONSISTENCIAS Y TAMAÑOS MAXIMOS DE AGREGADO

REVENIMIENTO cm	AGUA PARA CONCRETO (kg/m ³) PARA TAMAÑOS MAXIMOS DE AGREGADO GRUESO EN mm				
	10	12.5	20	25	40
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO					
3-5	205	200	185	180	160
6-10	225	215	200	195	175
15-18	240	230	210	205	185
	3	2.8	2	1.5	1
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO					
3-5	180	175	165	160	145
6-10	200	190	180	175	160
15-18	215	205	190	185	170
	7.5	7	6	6	5.5

TABLA 4.5a

RELACION AGUA-CEMENTO PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A LA COMPRESION

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS DE EDAD (kg/cm ²)	RELACION AGUA-CEMENTO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	CONCRETO CON AIRE INCLUIDO
420	0.41	
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

TABLA 4.6a.

**VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA
CONSISTENCIAS PLASTICAS (8-13 cm REVENIMIENTOS)**

TAMANO MAXIMO DEL AGREGADO (mm)	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECO COMPACTO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES MODULOS DE FINURA DE LA ARENA			
	2.40	2.80	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

TABLA 4.7a

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO HIDRAULICO
E INFORME DE PRUEBAS A COMPRESION CON MATERIAL N° 1
AGREGADO DE RIO**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f _c , kg/cm ²	350	PESO ESP. SECO SUELTO, kg/m ³		1558	1508
REVENIMIENTO, cm	8	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1729	1717
TAM. MAX. DEL AGREGADO	1"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,95	2,53	2,60
REL. AGUA/CEMENTO	0,48	% ABSORCION		1,7	0,5
		MOD. DE FINURA		2,35	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg.	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0.139	410
AGUA	23.78	0,48	0.195	185
GRAVA	127.82	2,87	0.403	1048,5
ARENA	78.46	2,07	0.248	827
VACIOS			0.015	
SUMAS			1.000	2278,5

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DEL ESPECIMEN	1	2	3	4	5	
REVENIMIENTO, cm	8	8	8	8	8	
PESO, kg	13,42	13,38	13,30	13,49	13,27	
DIAMETRO, cm	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	
ALTURA, cm	30,50	30,50	30,20	30,60	30,50	
AREA cm ²	181,45	181,45	181,45	181,45	181,45	
EDAD, dias	7	7	28	28	28	
CARGA DE RUPTURA, kg	39500,00	44500,00	60000,00	64400,00	81600,00	
RESISTENCIA A COMPRESION kg/cm ²	218,00	245,00	331,00	355,00	339,00	
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO	62%	70%	95%	101%	97%	
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	231,50		342,00			
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	66%		98%			

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A COMPRESION CON MATERIAL NO. 1
AGREGADO DE RIO**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f_c , kg/cm ²	350	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1729	1717
TIEMPO $V_e B_e$, sg	25	PESO VOL. MAX. OPT. REL. G/A = 50/50		1046,5	1046,5
TAM. MAX. DEL AGREGADO	1"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,95	2,53	2,80
REL. AGUA/CEMENTO	0,40	% ABSORCION		1,7	0,5
		MOD. DE FINURA		2,35	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,115	340
AGUA	19,85	0,40	0,135	135
GRAVA	153,89	3,08	0,403	1046,5
ARENA	110,5	2,26	0,297	751,5
VACIOS			0,050	
S U M A S			1,000	2273

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DEL ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
COMPACTACION $V_e B_e$, sg	25	25	25	25	25	25
PESO, kg	13,12	12,98	13,37	13,27	13,27	13,00
DIAMETRO, cm	15,20	15,20	15,30	15,30	15,20	15,30
ALTURA, cm	30,50	30,50	30,50	30,50	30,50	30,50
AREA, cm ²	181,46	181,46	183,85	183,85	181,46	183,85
EDAD, días	7	7	7	28	28	28
CARGA DE RUPTURA, kg	40987,00	45714,00	42867,00	68400,00	69000,00	64500,00
RESISTENCIA A COMPRESION kg/cm ²	228,00	252,00	233,00	361,00	380,00	351,00
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO.	85%	72%	67%	103%	109%	100%
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	237,00			364,00		
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	68%			104%		

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A COMPRESION CON MATERIAL NO. 2
CALIZA**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
% kg/cm ³	350	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1811	1556
TIEMPO V _e B _e , sg	30	PESO VOL. MAX. OPT. REL G/A = 03/40		798	1197
TAM. MAX. DEL AGREGADO	1"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,87	2,40	2,60
REL. AGUA/CEMENTO	0,40	% ABSORCION		2,10	0,70
		MOD. DE FINURA		2,60	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,118	340
AGUA	19,85	0,40	0,135	135
GRAVA	176,00	3,52	0,460	1197
ARENA	83,68	1,67	0,237	586
VACIOS			0,050	
S U M A S			1,000	2241

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DEL ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
COMPACTACION V _e B _e , sg	30	30	30	30	30	30
PESO, kg	11,61	11,28	11,53	11,58	11,49	11,83
DIAMETRO, cm	15,30	15,20	15,20	15,20	15,20	15,30
ALTURA, cm	30,40	30,40	30,50	30,50	30,50	30,50
AREA, cm ²	183,80	181,40	181,50	181,50	181,50	183,85
EDAD, dias	7	7	28	28	28	28
CARGA DE RUPTURA, kg	32500,00	31000,00	57600,00	53500,00	52800,00	59500,00
RESISTENCIA A COMPRESION kg/cm ²	177,00	171,00	317,00	295,00	291,00	324,00
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO.	51%	49%	91%	84%	83%	93%
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	174,00		307,00			
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	50%		87,75 %			

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A COMPRESION CON MATERIAL N0.3
TEZONTLE**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f'c, kg/cm ²	350	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1338	1091
TIEMPO V _o B _e , sg	30	PESO VOL. MAX. OPT. REL. G/A = 50/50		748,5	748,5
TAM. MAX. DEL AGREGADO	3/4"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,88	1,67	1,92
REL. AGUA/CEMENTO	0,40	% ABSORCION		13,30	13,40
		MOD. DE FINURA		3,21	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES	CANTIDADES
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO	ABSOLUTOS DE LOS MATS.	PARA UN m ² DE CONCRETO kg
CEMENTO	50,00	1,00	0,122	350
AGUA	20,00	0,40	0,14	140
GRAVA	141,90	2,84	0,494	903
ARENA	61,00	1,22	0,184	427
VACIOS			0,060	
S U M A S			1,000	1910

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DEL ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
COMPACTACION V _o B _e , sg	30	30	30	30	30	30
PESO, kg	9,32	9,3	9,56	9,25	9,55	9,36
DIAMETRO, cm	15,20	15,20	15,20	15,30	15,30	15,30
ALTURA, cm	30,25	30,30	30,50	30,50	30,50	30,50
AREA, cm ²	181,40	181,40	181,40	183,85	183,85	183,85
EDAD, dias	7	7	7	28	28	28
CARGA DE RUPTURA, kg	16000,00	16500,00	16300,00	28200,00	21250,00	23300,00
RESISTENCIA A COMPRESION kg/cm ²	88,00	91,00	89,85	153,40	115,60	126,80
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO.	25%	26%	26%	44%	33%	36%
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	89,62			131,93		
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	26%			38%		

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A COMPRESION CON MATERIAL NO.4
ANDESITA.**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f_c , kg/cm ²	400	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1842	1585
TIEMPO $V_e B_e$, sg	25	PESO VOL. MAX. OPT. REL G/A = 40/90		718	1077
TAM. MAX. DEL AGREGADO	3/4"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	3,1	2,30	2,30
REL. AGUA/CEMENTO	0,34	% ABSORCION		5,80	5,50
		MOD. DE FINURA		3,27	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,133	412
AGUA	17,00	0,34	0,14	140
GRAVA	87,13	1,74	0,312	718
ARENA	96,15	1,98	0,355	817
VACIOS			0,060	
S U M A S			1,000	2087

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DEL ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
COMPACTACION $V_e B_e$, sg	25	25	25	25	25	25
PESO, kg	12,49	12,40	12,34	12,6	12,57	12,60
DIAMETRO, cm	15,30	15,20	15,20	15,30	15,30	15,30
ALTURA, cm	30,50	30,30	30,60	30,50	30,50	30,60
AREA, cm ²	183,85	181,40	181,40	183,85	181,40	183,85
EDAD, días	7	7	7	28	28	28
CARGA DE RUPTURA, kg	64800,00	59400,00	66600,00	79400,00	77500,00	79900,00
RESISTENCIA A COMPRESION kg/cm ²	325,50	327,50	367,00	430,00	427,00	435,00
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO.	81%	82%	92%	108%	107%	109%
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	340,00			431,00		
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	85%			108%		

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO HIDRAULICO
E INFORME DE PRUEBAS A TENSION CON MATERIAL N° 1
AGREGADO DE RIO**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f'c, kg/cm ²	350	PESO ESP. SECO SUELTO, kg/m ³		1558	1508
REVENIMIENTO, cm	8	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1729	1717
TAM. MAX. DEL AGREGADO	1"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,95	2,53	2,60
REL. AGUACEMENTO	0,48	% ABSORCION		1,7	0,5
		MOD. DE FINURA		2,35	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg.	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,130	410
AGUA	23,78	0,48	0,195	195
GRAVA	127,62	2,87	0,403	1046,5
ARENA	76,46	2,07	0,248	627
VACIOS			0,015	
S U M A S			1,000	2278,5

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DEL ESPECIMEN	1	2	3	4	5	
REVENIMIENTO, cm	8	8	8	8	8	
PESO, kg	13,42	13,38	13,30	13,49	13,27	
DIAMETRO, cm	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	
ALTURA, cm	30,50	30,50	30,20	30,60	30,50	
AREA cm ²	181,45	181,45	181,45	181,45	181,45	
EDAD, dias	7	7	28	28	28	
CARGA DE RUPTURA, kg	39500,00	44500,00	60000,00	64400,00	61600,00	
RESISTENCIA A COMPRESION kg/cm ²	218,00	245,00	331,00	355,00	339,00	
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO	62%	70%	95%	101%	97%	
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	231,50		342,00			
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	66%		98%			

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A TENSION CON MATERIAL NO. 1
AGREGADO DE RIO**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f_c , kg/cm ²	350	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1729	1717
TIEMPO $V_e B_e$, sg	25	PESO VOL. MAX. OPT. REL. G/A = 50/50		1048,5	1048,5
TAM. MAX. DEL AGREGADO	1"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,95	2,53	2,00
REL. AGUACEMENTO	0,40	% ABSORCION		1,7	0,5
		MOD. DE FINURA			

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,115	340
AGUA	19,85	0,40	0,135	135
GRAVA	153,89	3,08	0,403	1048,5
ARENA	110,5	2,26	0,297	751,5
VACIOS			0,050	
S U M A S			1,000	2273

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
COMPACTACION $V_e B_e$, sg	25	25	25	25	25	25
PESO, kg	13,25	13,50	13,35	13,30	13,10	13,15
DIAMETRO, cm	15,20	15,30	15,30	15,30	15,10	15,30
ALTURA, cm	30,50	30,60	30,50	30,60	30,50	30,50
EDAD, dias	7	7	7	28	28	28
CARGA DE RUPTURA, kg	18850,00	20325,00	19500,00	31900,00	33500,00	34600,00
RESISTENCIA A TENSION kg/cm ²	25,89	27,74	28,62	43,40	46,30	47,20
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO	7%	8%	8%	12%	13%	13%
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	26,75			45,63		
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	8%			13%		

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A TENSION CON MATERIAL NO. 2
CALIZA**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f_c , kg/cm ²	350	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1811	1556
TIEMPO $V_e B_e$, sg	30	PESO VOL. MAX. OPT. REL G/A = 60/40		798	1197
TAM. MAX. DEL AGREGADO	1"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,87	2,40	2,80
REL. AGUA/CEMENTO	0,40	% ABSORCION		2,10	0,70
		MOD. DE FINURA		2,80	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,118	340
AGUA	19,85	0,40	0,135	135
GRAVA	178,00	3,52	0,460	1197
ARENA	83,68	1,67	0,237	569
VACIOS			0,050	
SUMAS			1,000	2241

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	
COMPACTACION $V_e B_e$, sg	30	30	30	30	30	
PESO, kg	12,63	12,25	11,93	11,69	11,82	
DIAMETRO, cm	15,30	15,30	15,20	15,00	15,20	
ALTURA, cm	30,50	30,50	30,60	30,50	30,50	
EDAD, dias	7	7	28	28	28	
CARGA DE RUPTURA, kg	21000,00	17500,00	33000,00	32000,00	32500,00	
RESISTENCIA A TENSION kg/cm ²	28,60	23,90	45,00	44,50	45,00	
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO	8%	7%	13%	13%	13%	
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	26,25		44,60			
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	8%		13%			

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A TENSION CON MATERIAL NO. 3
TEZONTLE**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f _c , kg/cm ²	350	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1339	1001
TIEMPO V _o B _o , sg	30	PESO VOL. MAX. OPT. REL G/A = 50/50		748,5	740,5
TAM. MAX. DEL AGREGADO	3/4"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,88	1,87	1,92
REL. AGUACEMENTO	0,40	% ABSORCION		13,30	13,40
		MOD. DE FINURA		3,21	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,122	350
AGUA	20,00	0,40	0,14	140
GRAVA	141,90	2,84	0,494	993
ARENA	81,00	1,22	0,184	427
VACIOS			0,060	
SUMAS			1,000	1910

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	
COMPACTACION V _o B _o , sg	30	30	30	30	30	
PESO, kg	9,47	9,35	9,55	88,80	93,50	
DIAMETRO, cm	15,20	15,20	15,30	15,30	15,30	
ALTURA cm	30,30	30,40	30,50	30,50	30,50	
EDAD, dias	7	7	7	28	28	
CARGA DE RUPTURA, kg	8600,00	8200,00	9000,00	16000,00	16950,00	
RESISTENCIA A TENSION kg/cm ²	11,89	11,30	12,30	21,83	23,12	
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO.	3%	3%	4%	6%	7%	
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	11,83			22,48		
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	3%			6%		

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A TENSION CON MATERIAL NO. 4
ANDESITA**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f_c , kg/cm ²	400	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1642	1585
TIEMPO $V_e B_e$, sg	25	PESO VOL. MAX. OPT. REL G/A = 40/60		718	1077
TAM. MAX. DEL AGREGADO	3/4"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	3,1	2,30	2,30
REL. AGUA/CEMENTO	0,34	% ABSORCION		5,80	5,50
		MOD. DE FINURA		3,27	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ² DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,133	412
AGUA	17,00	0,34	0,14	140
GRAVA	87,13	1,74	0,312	718
ARENA	99,15	1,98	0,355	817
VACIOS			0,060	
SUMAS			1,000	2087

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
COMPACTACION $V_e B_e$, sg	25	25	25	25	25	25
PESO, kg	12,4	12,47	12,4	12,54	12,57	12,54
DIAMETRO, cm	15,30	15,30	15,30	15,30	15,30	15,30
ALTURA, cm	30,50	30,50	30,40	30,60	30,60	30,50
EDAD, dias	7	7	7	28	28	28
CARGA DE RUPTURA, kg	22600,00	22900,00	22000,00	30400,00	32200,00	36700,00
RESISTENCIA A TENSION kg/cm ²	31,00	31,00	30,00	41,50	44,00	50,00
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO	8%	8%	8%	10%	11%	13%
RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm ²	30,66			45,16		
% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO PROMEDIO	8%			11%		

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO HIDRAULICO
E INFORME DE PRUEBAS A FLEXION CON MATERIAL N° 1**

MATERIAL: AGREGADO DE RIO
PROCEDENCIA: BANCO PASO REAL
LOCALIZACION:

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f _c , kg/cm ²	350	PESO ESP. SECO SUELTO, kg/m ³		1568	1508
REVENIMIENTO, cm	8	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1729	1717
TAM. MAX. DEL AGREGADO	1"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,96	2,53	2,80
REL. AGUA/CEMENTO	0,48	% ABSORCION		1,7	0,5
		MOD. DE FINURA		2,36	

PROPORCIONAMIENTO DE LOS MATERIALES				
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg.	PROPORCIONES EN PESO	VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
CEMENTO	50,00	1,00	0,139	410
AGUA	23,78	0,48	0,106	195
GRAVA	127,82	2,87	0,403	1048,5
ARENA	76,46	2,07	0,248	627
VACIOS			0,015	
S U M A S			1,000	2279,5

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
REVENIMIENTO, cm	8	8	8	8		
PESO, kg						
LARGO, cm	60,10	60,00	60,20	60,00		
ANCHO, cm	15,20	15,30	15,30	15,30		
PERALTE, cm	15,20	15,10	15,00	15,20		
LONG ENTRE APOYOS, cm	45	45	45	45		
EDAD, dias	7	7	28	28		
CARGA DE RUPTURA, kg	2681,00	2230,00	4326,00	4221,00		
MODULO DE RUPTURA kg/cm ²	34,35	28,77	58,55	53,73		
PROMEDIO kg/cm ²	31,56		55,14			

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A FLEXION CON MATERIAL NO. 1
AGREGADO DE RIO**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f _o , kg/cm ²	350	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1729	1717
TIEMPO V _a B _e , sg	25	PESO VOL. MAX. OPT. REL G/A = 50/50		1046,5	1046,5
TAM. MAX. DEL AGREGADO	1"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,95	2,53	2,60
REL. AGUA/CEMENTO	0,40	% ABSORCION		1,7	0,5
		MOD. DE FINURA			

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,115	340
AGUA	19,85	0,40	0,135	135
GRAVA	153,89	3,08	0,403	1046,5
ARENA	110,5	2,26	0,297	751,5
VACIOS			0,050	
S U M A S			1,000	2291,5

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
COMPACTACION V _a B _e , sg	25	25	25	25	25	
PESO, kg						
LARGO, cm	60,00	60,00	60,10	60,00	60,00	
ANCHO, cm	15,00	15,10	15,10	15,20	15,00	
PERALTE, cm	15,00	15,00	15,10	15,20	15,00	
LONG. ENTRE APOYOS, cm	45	45	45	45	45	
EDAD, dias	7	7	28	28	28	
CARGA DE RUPTURA, kg	3187,20	2788,80	4702,20	4418,64	4324,80	
MODULO DE RUPTURA kg/cm ²	42,50	36,69	61,48	56,62	57,68	
PROMEDIO kg/cm ²	39,60		58,58			

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A FLEXION CON MATERIAL NO. 2
CALIZA**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f_c , kg/cm ²	350	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1611	1558
TIEMPO $V_e B_e$, sg	30	PESO VOL. MAX. OPT. REL G/A = 80/40		798	1197
TAM. MAX. DEL AGREGADO	1"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,87	2,40	2,60
REL. AGUA/CEMENTO	0,40	% ABSORCION		2,10	0,70
		MOD. DE FINURA		2,60	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,118	340
AGUA	19,85	0,40	0,135	135
GRAVA	176,00	3,52	0,460	1197
ARENA	83,68	1,67	0,237	569
VACIOS			0,050	
S U M A S			1,000	2241

ESPECIMENES ENSAYADOS						
NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	6
COMPACTACION $V_e B_e$, sg	30	30	30	30	30	30
PESO, kg						
LARGO, cm	60,10	60,10	60,00	60,00	60,10	60,10
ANCHO, cm	15,40	15,30	15,10	15,20	15,30	15,40
PERALTE, cm	15,30	15,40	15,10	15,20	15,20	15,30
LONG. ENTRE APOYOS, cm	45	45	45	45	45	45
EDAD, días	7	7	28	28	28	28
CARGA DE RUPTURA, kg	2382,00	2190,72	3785,22	3974,94	4018,80	4085,10
MODULO DE RUPTURA, kg/cm ²	29,54	27,35	49,47	50,93	50,83	50,66
PROMEDIO kg/cm ²		28,45		50,47		

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A FLEXION CON MATERIAL NO. 3
TEZONTLE**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f_c , kg/cm ²	350	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1338	1091
TIEMPO $V_e B_e$, sg	30	PESO VOL. MAX. OPT. REL G/A = 50/50		748,5	748,5
TAM. MAX. DEL AGREGADO	3/4"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	2,88	1,67	1,92
REL. AGUA/CEMENTO	0,40	% ABSORCION		13,30	13,40
		MOD. DE FINURA		3,21	

PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,122	350
AGUA	20,00	0,40	0,14	140
GRAVA	141,90	2,84	0,494	993
ARENA	61,00	1,22	0,184	427
VACIOS			0,060	
S U M A S			1,000	1910

ESPECIMENES ENSAYADOS					
NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	4	
COMPACTACION $V_e B_e$, sg	30	30	30	30	
PESO, kg					
LARGO, cm	60,00	60,00	60,10	60,20	
ANCHO, cm	15,20	15,20	15,20	15,20	
PERALTE, cm	15,30	15,20	15,20	15,30	
LONG. ENTRE APOYOS, cm	45	45	45	45	
EDAD, dias	7	7	28	28	
CARGA DE RUPTURA, kg	1586,10	1495,32	3351,72	3114,06	
MODULO DE RUPTURA kg/cm ²	19,71	19,16	43,52	39,38	
PROMEDIO kg/cm ²	20,34		41,45		

OBSERVACIONES:

**PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS
E INFORME DE PRUEBAS A FLEXION CON MATERIAL NO. 4
ANDESITA**

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES			
			CEMENTO	ARENA	GRAVA
f_c , kg/cm ²	400	PESO VOLUMETRICO COMPACTO.		1842	1586
TIEMPO $V_e B_e$, sg	25	PESO VOL. MAX. OPT. REL. G/A = 40/60		718	1077
TAM. MAX. DEL AGREGADO	3/4"	DENSIDAD DEL MAT. SATURADO	3,1	2,30	2,30
REL. AGUACEMENTO	0,34	% ABSORCION		5,80	5,50
		MOD. DE FINURA		3,27	

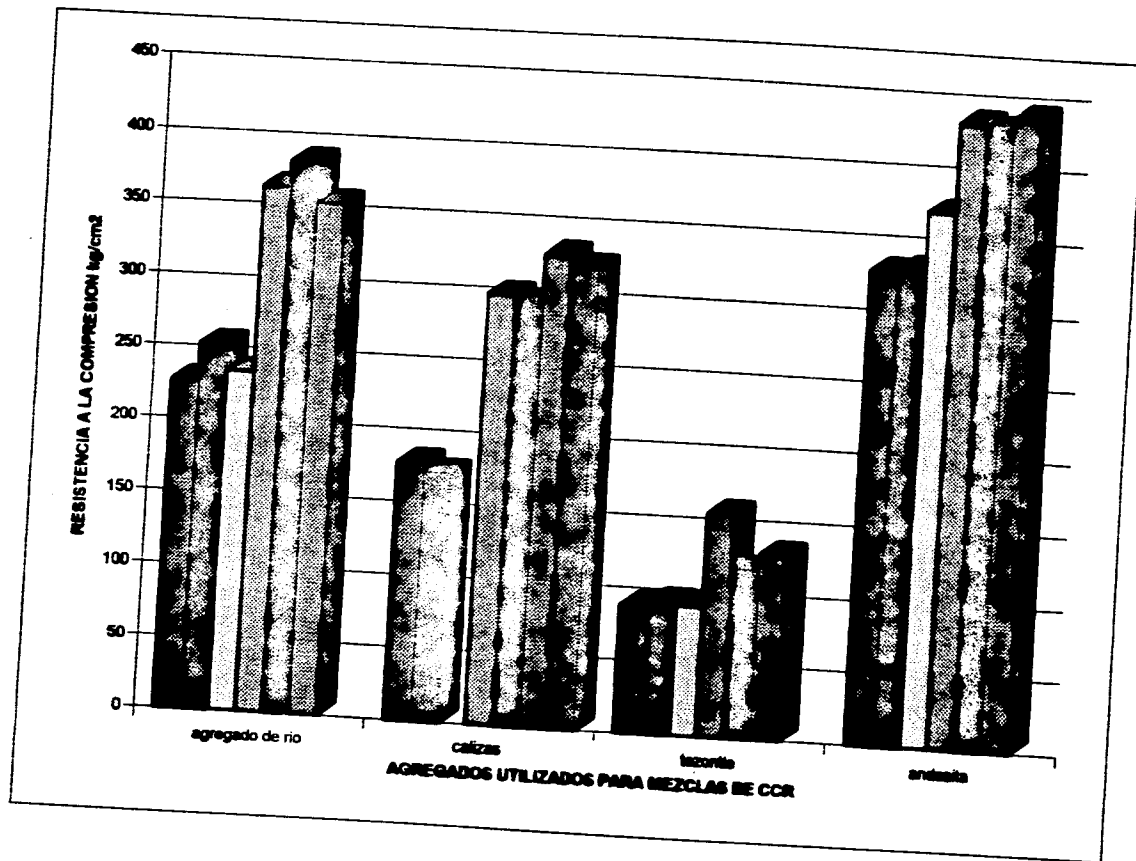
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES			VOLUMENES ABSOLUTOS DE LOS MATS.	CANTIDADES PARA UN m ³ DE CONCRETO kg
MATERIALES	MATERIALES MEDIDOS EN PESO kg	PROPORCIONES EN PESO		
CEMENTO	50,00	1,00	0,133	412
AGUA	17,00	0,34	0,14	140
GRAVA	87,13	1,74	0,312	718
ARENA	99,15	1,98	0,365	817
VACIOS			0,080	
S U M A S			1,000	2087

ESPECIMENES ENVAJADOS						
NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	4	5	
COMPACTACION $V_e B_e$, sg	25	25	25	25	25	
PESO, kg						
LARGO, cm	60,00	60,30	60,00	60,00	60,00	
ANCHO, cm	15,10	15,10	15,10	15,20	15,30	
PERALTE, cm	15,10	15,10	15,00	15,00	15,00	
LONG. ENTRE APOYOS, cm	45	45	45	45	45	
EDAD, dias	7	7	28	28	48	
CARGA DE RUPTURA, kg	2814,00	2998,00	4311,00	4284,00	4207,00	
MODULO DE RUPTURA kg/cm ²	36,78	39,18	55,98	55,83	53,92	
PROMEDIO kg/cm ²	37,98		55,18			

OBSERVACIONES:

RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA LAS DIFERENTES MEZCLAS DE CCR ELABORADAS.

100



CORRECCION POR ABSORCION Y HUMEDAD

Se debe considerar la absorción de los agregados que afecta al valor de agua requerida para la mezcla la cual recibe el nombre de agua absorbida este valor se obtiene de la siguiente manera:

La humedad existente en los agregados afecta también a la dosificación final de la mezcla por tanto se corrige de la siguiente forma:

Grava = Peso de ag. grueso x humedad

Arena = Peso de ag. fino x humedad

Así pues el agua superficial proporcionada por el agregado grueso será:

Agua (ag. grueso) = Peso ag.grueso x (Hum-Abs)

Agua (ag. fino) = Peso ag.fino x (Hum-Abs)

Agua Total = Agua - A (ag.grueso) - A (ag. fino)

CORRECCION POR CONTAMINACION DE AGREGADOS.

Cuando los agregados están contaminados es necesario efectuar una corrección a los proporcionamientos de arena y grava de la forma que a continuación se establece:

- De arena en grava

$$FG = \{1 - (y \cdot (1 + (1/r)))\} / (1 - y \cdot x)$$

- De grava en arena

$$FA = \{1 - (r \cdot x \cdot FG)\} / (1 - y)$$

Donde:

FG = Factor de corrección de arena en la grava

FA = Factor de corrección de grava en la arena

y = contaminación de grava en la arena

x = contaminación de arena en la grava

r = relación arena/grava.

CAPITULO 5

DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS C.C.R.

En este capítulo no se pretenden analizar los fundamentos teóricos ni los modelos matemáticos de los métodos para diseñar pavimentos con Concreto Compactado con Rodillos (CCR); el objetivo del capítulo es aplicar los métodos a casos concretos y determinar cuales son las características que deben cumplir las capas sobre las que se apoyará la losa.

En este capítulo se discuten las características que deben considerarse deseables para las capas en las que se apoyará la losa de CCR, para garantizar que tenga el soporte o resistencia adecuadas; evitando con esto deformaciones en la losa que se traducirían en el colapso de la misma, también se pretende dar a conocer dos de los diferentes métodos utilizados para el diseño de los espesores de las losas de CCR, cabe señalar que estos métodos son los mismos que se aplican a concreto convencional.

5.1.- FUNCIONES DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO

El pavimento o la sección estructural de un pavimento debe ser una estructura que reúna las siguientes funciones:

- 1.- Proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados.**
- 2.- Resistir la acción de las cargas propiciadas por el tránsito tanto en su magnitud como en su intensidad, sin sufrir cambios volumétricos y/o llegar a la falla.**
- 3.- Transmitir a las terrecerías y/o el terreno natural adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito de tal forma que no sobrepasen los esfuerzos que resisten las diferentes capas.**
- 4.- Resistir la acción del intemperismo.**
- 5.- Proporcionar al usuario un tránsito seguro, comodo y económico.**

Podemos definir un pavimento como una estructura que sirve de apoyo para el tránsito vehicular, compuesto por diversas capas superpuestas constituidas por distintos materiales; las cuales están formadas por el terreno natural, el cuerpo del terraplén, la capa subrasante, la sub-base, la base y la carpeta; se pueden tener secciones en las que se excluyan algunas de estas partes. Todas estas capas cumplen en conjunto la función de proporcionar soporte a los vehículos.

Los pavimentos se clasifican en tres grandes grupos:

Pavimentos flexibles

Pavimentos rígidos

Pavimentos mixtos

Pavimentos flexibles: Son aquellos que están formados por una capa superior de rodamiento, en general de productos asfálticos y agregados pétreos apoyada sobre una base, una sub-base, una subrasante y una terracería. La figura 5.1 ilustra este tipo de pavimentos.

Pavimentos rígidos: Por su parte, están constituidos por una losa de concreto, la cual debe estar apoyada en una sub-base. La figura 5.2 muestra un perfil de pavimentos rígidos.

Pavimentos mixtos: Están constituidos por una capa más rígida que las estabilizadas hidráulicamente como son las bases estabilizadas con cemento tipo Portland, cal o una losa hidráulica pero dichas capas empaçadas entre las capas estabilizadas hidráulicamente y con superficie de rodamiento de productos asfálticos y agregados pétreos. La figura 5.3 muestra un perfil de pavimento mixto.



Fig. 5.1

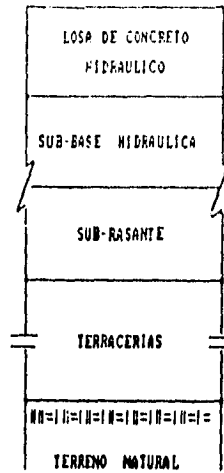


Fig 5.2

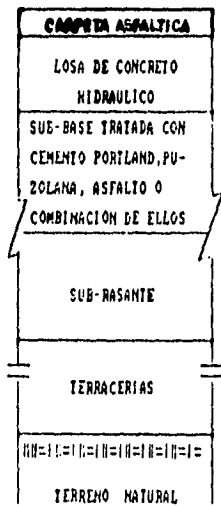


Fig. 5.3

Si bien, en general se acepta la clasificación anterior para distinguir a los pavimentos, la principal diferencia entre un pavimento rígido y uno flexible radica en la forma como cada uno de ellos distribuye el esfuerzo que le produce el tránsito vehicular sobre las capas que lo subyacen.

Como las propiedades ingenieriles del CCR son muy similares a las del concreto convencional, para el diseño de pavimentos de CCR pueden aplicarse directamente los procedimientos de diseño de espesores utilizados para pavimentos de concreto normal.

De tal forma que de acuerdo a la clasificación de pavimentos, podemos ubicar a los pavimentos de CCR dentro del grupo de pavimentos rígidos o bien mixtos cuando estan cubiertos de una capa de concreto asfáltico.

5.2.- FUNCIONES Y CARACTERISTICAS DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO.

5.2.1.- TERRAPLENES

Las estructuras construidas con material adecuado producto de cortes o de préstamos recibe el nombre de terraplenes; esto es una estructura elevada de tierra, tierra-agregado, o roca.

En los terraplenes se distinguen 2 partes: la inferior, designada como cuerpo de terraplén y la superior, llamada la capa subrasante, que constituye generalmente los últimos 30 cms del terraplén.

Los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes se clasifican:

- a) Material Compactable.
- b) Material no compactable.

Los materiales compactables son los suelos, los tepetates y otros materiales que aún cuando al excavarlos presenten fragmentos o terrones, que con el manejo y colocación se reducen prácticamente a suelo.

Materiales no compactables son los fragmentos de roca provenientes de mantos senos fracturados, fisurados y aún intemperizados de rocas igneas, sedimentarias y metamórficas. El tamaño de los fragmentos de roca van desde mas de 7.5 cm hasta 2.00 m.

En general cualquier suelo natural es aprovechable para terracerías; se exceptúan los suelos orgánicos de alta plasticidad o aquellos cuyo rebote elástico sea importante o sufran cambios volumétricos, y por lo tanto produzcan deformaciones en las capas superiores. El material de la capa subrasante se selecciona con más cuidado que el del cuerpo del terraplén, ya que una de sus funciones es servir de transición entre la terracería y la sub-base y ser el apoyo de esta. Cuando el material del cuerpo de terraplén es de buena calidad, la capa subrasante puede estar formada del mismo material, sujeto a un mejor proceso constructivo, sobre todo en lo referente a su compactación, con objeto de aumentar su resistencia.

El material usado en terraplenes debe cumplir con las siguientes especificaciones:

El material para terraplén será una combinación bien graduada de material granular y suelo limoso y arcilloso.

Al menos el 80% del material se retendrá en la malla No. 200, y al menos el 10% pasará por esta malla.

Ninguna partícula de grava o piedra será mayor que la tercera parte de la profundidad de la capa en que se coloque.

El límite líquido del suelo no será mayor de 40, y su índice de plasticidad no será mayor de 10.

El material que se use estará libre de basura, ladrillo, pedazos de concreto, raíces de árboles, césped o cenizas.

El material pétreo para la capa subrasante deberá cumplir con lo indicado en la tabla siguiente:

CARACTERISTICAS	NORMA QUE DEBE CUMPLIR
Tamaño máximo del material	3"
Valor relativo de soporte	10% min.
Expansión	3% max.

La capa subrasante deberá tener un espesor mínimo de 30 cm y compactarse a 95% o al grado que fije el proyecto.

Las funciones de la capa subrasante son las siguientes:

1.- Servir como capa de transición entre el pavimento y las terracerías, esto es, debe evitar que se contamine la parte inferior del pavimento con los materiales que forman las terracerías y además debe impedir que el pavimento se incruste en las terracerías, sobre todo si está formado por material grueso.

2.- Impedir que las irregularidades en la cama de los cortes en roca, se reflejen en la superficie del pavimento.

3.- Reducir espesores de las capas del pavimento, con el ahorro que esto implica, aún más si se tienen terracerías de baja calidad, mal drenaje o subdrenaje.

4.- Uniformizar los espesores requeridos del pavimento, al compensar la variación de resistencia en las terracerías.

5.- Servir de apoyo así como la sub-base a la losa de concreto la cual por sus propiedades mecánicas de rigidez no deberá sufrir deformaciones que provocarían el colapso de la estructura.

La capa de subrasante es de vital importancia para la obra vial, puesto que de su calidad dependen en gran parte el espesor y comportamiento del pavimento; ya que aún cuando el pavimento sea de muy buena calidad y espesor si la capa subrasante no es de una calidad aceptable se presentarán problemas de funcionamiento en la estructura del pavimento. Las principales propiedades que debe tener la capa subrasante son: resistencia a los esfuerzos, facilidad de compactación y adecuadas características de drenaje.

5.2.2.- SUB-BASE Y LOSA.

Para pavimentos rígidos, la losa de concreto, por su rigidez y resistencia es la que absorba la mayor parte de las cargas que recibe el pavimento en su conjunto, debido a esto los esfuerzos que se transmiten a la sub-base son pequeños, sin embargo estas debe cumplir con ciertas características que se mencionan más adelante.

El correcto trabajo de las losas exige que estén uniformemente apoyadas y que ese apoyo se mantenga en buenas condiciones durante toda la vida útil del pavimento.

En la actualidad se ha establecido la norma de construir una sub-base apropiada en todas las carreteras de tráfico pesado y en la mayoría de las aeropistas en pavimentos rígidos.

Las funciones de la sub-base de un pavimento de CCR son las siguientes:

- 1.-Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.**
- 2.-Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y capa subrasante.**
- 3.-Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme la terracería o la subrasante.**
- 4.-Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de**

las terracerías o de la capa subrasante.

5.-Evitar el bombeo.

6.-Interrumpir y desalojar el flujo de agua que proviene de las capas inferiores, debido principalmente al fenómeno de capilaridad; esto es importante porque la presencia de agua inmediatamente baja considerablemente la funcionabilidad y resistencia de la misma.

7.-Absorber contracciones y expansiones del terreno natural y subrasante

Las características que debe cumplir la sub-base para pavimentos con CCR. son las siguientes:

El material de la sub-base estará bien graduado.

Del material que pase la malla No. 10, no más del 25% debe pasar la malla No.200, el porcentaje de material que pase la malla No. 200 no deberá ser mayor que las dos terceras partes del que pasa la malla No. 40.

La porción del material de la sub-base que pasa la malla No. 40 tendrá un límite líquido máximo de 30% y un índice de plasticidad máximo de 6%.

El tamaño máximo de las partículas de los materiales que no requieren ningún tratamiento o para los que requieren disgregación o cribado, no deberá ser mayor de 51 mm (2"); para los materiales que requieren trituración parcial y cribado, el tamaño máximo de las partículas no deberá ser mayor de 38 mm.

El material ideal para la construcción de la sub-base es uno granular y bien graduado. Cuando no se disponga de estos materiales, la estabilización de materiales sobre todo con cemento puede ser una opción: ya que mejora mucho su comportamiento, especialmente en lo referente a bombeo y susceptibilidad a cambios volumétricos, además de permitir la conformación de una superficie de apoyo sin accidentes y garantizar una apropiada resistencia.

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO A SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
LIMITE LIQUIDO EN %	30 MAX	30 MAX	30 MAX
INDICE PLASTICO EN %	6 MAX	6 MAX	6 MAX
CONTRACCION LINEAL EN %	5.5 MAX	4.5 MAX	3.5 MAX

De valor relativo de soporte , equivalente de arena e indice de durabilidad, en carreteras son los indicados a continuación:

INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS	VALOR RELATIVO DE SOPORTE	EQUIVALENTE DE ARENA	INDICE DE DURABILIDAD
Hasta 1000 vehículos al día	80 Mín.	30 Mín.	35 Mín.
Más de 1000 vehículos al día	100 Mín.	50 Mín.	40 Mín.

El material deberá compactarse al 95 % o 100% de su peso volumétrico seco máximo, o lo que fije el proyecto.

Los cambios volumétricos en el terreno de apoyo, causados por cambios en el contenido de agua, pueden ser causa importante para que las losas pierdan su apoyo uniforme. Probablemente la humedad de compactación idónea debe ser un valor preciso que deberá fijarse en cada caso atendiendo a las condiciones climáticas y constructivas prevalecientes.

Solo cuando la subrasante cumpla de por sí con las características que se estiman deseables para la sub-base podrá evitarse la construcción de esta última.

La susceptibilidad a la expansión deberá vigilarse desde los materiales de terracería, ya que al sufrir estos cambios de volumen se tendrán deformaciones de importancia en la superficie de las capas de subrasante y sub-base, además de los problemas de pérdida de apoyo, aun si estas capas estan formadas de materiales que ofrezcan apoyo uniforme a la losa.

5.3.- DISEÑO DE PAVIMENTOS CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS

De los métodos descritos en este tema para diseño de pavimentos rígidos de carreteras se encuentran solo dos: el primero propuesto por la PCA y el segundo descrito es el método propuesto por la AASHTO.

Para el diseño de un pavimento se debe partir del cálculo del tránsito equivalente acumulado que circulará sobre el mismo y en función de dicho cálculo poder obtener los espesores que constituirán el pavimento.

Existen técnicas, que para calcular el tránsito equivalente acumulado utilizan lo que se denomina tránsito mezclado, que toma en cuenta la posición, la composición del tránsito que circulará por el carril de diseño, a través de los coeficientes de daño que ocasiona cada vehículo en las capas del pavimento. Los métodos basados exclusivamente en la intensidad del tránsito, sin distinguir el tránsito mezclado, no deben emplearse pues conducen a resultados extremos o muy del lado de la seguridad o bien del lado arriesgado.

Para la determinación del cálculo del tránsito equivalente acumulado se utilizó el procedimiento seguido por cada uno de los métodos descritos esto es se empleó el procedimiento aplicado por la PCA y por la AASHTO; los cuáles se describen en los incisos 5.3.1 y 5.3.2.

5.3.1.- METODO PCA.

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.

• Tránsito.

Para el diseño del pavimento es importante estimar el tránsito esperado. La información requerida del tránsito incluye la magnitud de las cargas por eje, sabiendo tanto para el caso de ejes sencillos como para tandem las diferentes cargas que circularán y la frecuencia de las operaciones de los vehículos más pesados que harán uso del pavimento. Deberá hacerse acopio de la mayor cantidad de datos posible sobre los tipos de vehículos que transitarán por el pavimento, recurriendo a los departamentos de planeación y operación del transporte y a los fabricantes de equipos pesados.

Para pavimentos rígidos el volumen de tránsito mezclado valido para diseño, se determina mediante la siguiente expresión:

$$TD = \frac{100 P}{100 + Tph(j-i)}$$

donde:

TD = Tránsito mezclado, valido para diseño.

P = Número de automoviles de pasajeros, incluyendo camionetas por carril y por hora; se obtiene de tabla 5.3.1.1a.

N = Número de carriles en ambas direcciones.

Tph = Porcentaje de camiones durante horas de máxima fluencia; esto será igual al porcentaje de vehículos pesados en las dos direcciones.

j = Número de carros de pasajeros equivalentes a un camión que puede ser:

terreno montañoso = 4

terreno plano = 2

K = Volumen horario de tránsito de diseño (VHD), el cuál se expresa como porcentaje del TD y puede ser:

Autopistas de tránsito elevado = 15%

Autopistas de tránsito medio = 12%

D = Tránsito máximo en una dirección , en porcentaje, durante las horas de máxima fluencia, el cuál varía entre 50% y 75% y puede ser:

Autopistas de tránsito elevado = 67%

Autopistas de tránsito medio = 60%

Conocido el tránsito de diseño se calculará el volumen promedio horario de vehículos en un sentido este será igual a la siguiente expresión:

$$vph = \frac{TD}{NS \times 24}$$

donde:

vph = volumen promedio horario de vehículos en un sentido

TD = Tránsito de diseño

NS = Número de sentidos

Con el valor vph se obtiene el PCCD = porcentaje de camiones en el carril de diseño mediante la tabla 5.3.1.2a.

Se calcula también el NO. de vehículos pesados mediante la expresión siguiente:

$$NVP = TD \times \%VP$$

donde:

NVP = NO. de vehículos pesados en ambas direcciones.

TD = Tránsito de diseño.

%VP = Porcentaje de vehículos pesados; este se obtiene de la composición del tránsito.

El TDA = número de camiones en la vida de diseño o tránsito acumulado de ejes sencillos equivalentes se obtiene de la siguiente expresión:

TDA = NVP en una dirección x PCCD x 365 días x 20 años.

**Número de autos (incluyendo camionetas)
por carril y por hora (según P.C.A.)**

Tipo de carretera	Valor de P
Autopistas urbanas	1,500
Autopistas suburbanas	1,200
Autopistas	1,000
Carreteras de tránsito medio	700-900
Carreteras de bajo tránsito	500-700

TABLA 5.3.1.1a

**Porcentaje de camiones en el carril de diseño
para carreteras de 4 carriles**

Volumen promedio horario de vehículos en un sentido (cientos de camiones)	Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño (%)
2	96
4	90
8	84
12	80
16	77
20	76
24	74
28	74
32	75
36	77

TABLA 5.3.1.2a

Módulo de reacción de la Subrasante y de la sub-base.

El apoyo proporcionado al pavimento de CCR por la subrasante y por la subbase, si se utiliza, es un elemento primordial en el diseño del espesor. El apoyo de la subrasante y de la subbase se expresa en términos del módulo de reacción de la subrasante (k). El valor k se determina mediante una prueba de carga de placa no repetitiva; el efecto de la sub-base debe tomarse en cuenta haciendo pruebas de placa sobre ellas, obteniendo así un módulo de reacción corregido de la sub-base que será el utilizado para entrar a los gráficos de diseño de espesor de losa de concreto. Cuando no se dispone de tiempo y equipo para estimar dicho valor, pueden usarse las gráficas 5.3.1.1 y 5.3.1.2.

• Resistencia a la tensión en flexión.

Es preciso haber fijado el valor de M_r de proyecto, que habrá de satisfacer el concreto que se coloque en la obra; este valor es obtenido de una prueba de flexión al concreto a los 28 días de edad, en este método se conoce como esfuerzo disponible.

• Comportamiento a la fatiga del concreto.

La fatiga es la falla de la estructura generada por la repetición de un esfuerzo. A mayor número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 Ton. se requerirá un espesor de pavimento mayor.

Tomando en cuenta el concepto de fatiga, en este método se hará uso de la tabla 5.3.1.3a. la cual correlaciona el valor de relación de resistencias con el número de repeticiones de la carga correspondiente que se puede soportar sin falla este valor se conoce como repeticiones de carga permisibles y estarán en función de la resistencia a la tensión en flexión del concreto de proyecto.

Relación de resistencias	Número permisible de repeticiones	Relación de resistencias	Número permisible de repeticiones
0.51	400,000	0.69	2500
0.52	300,000	0.70	2000
0.53	240,000	0.71	1500
0.54	180,000	0.72	1100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30
0.68	3,500		

TABLA 5.3.1.3a

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

Para el diseño del espesor del pavimento se usaron los siguientes datos de entrada:

- **Valor relativo de soporte de la subrasante y de la sub-base este valor será el mínimo de acuerdo a lo que fijen las especificaciones de la S.C.T.**
- **Espesor de la subrasante y sub-base recomendados según la experiencia.**
- **El valor k de la subrasante o la combinación de la subrasante y la sub-base; para la obtención del valor de k para la subrasante se empleará la tabla 5.3.1.4a donde se entra con el VRS de esa capa, mientras que el valor k de combinación subrasante sub-base se obtiene usando las figuras 5.3.1.1. y 5.3.1.2 dependiendo si la sub-base es o no estabilizada para entrar a estos gráficos se requieren los siguientes datos: Modulo de reacción de la subrasante (k) espesor de la sub-base.**
- **El espesor de la losa de concreto.**
- **El módulo de ruptura del concreto a los 28 días de edad.**
- **El tránsito acumulado de ejes equivalentes, o tránsito de diseño acumulado.**
- **El factor de seguridad de carga; esto como recomendación adicional para tener el valor de la carga a partir del cual se estima el M_r actuante o esfuerzo actuante. Dicho factor de seguridad es de 1.2 para carreteras importantes con tránsito muy abundante de vehículos pesados; 1.1 para carreteras o calles con volúmenes medios de tránsito de vehículos pesados; y 1.0 para carreteras y calles con volumen pequeño o nulo de dicho tipo de tránsito.**
- **El factor de distribución de carga para cada 1000 ejes obtenida de tabla 5.3.1.5a.**

Con estos datos se llenará la tabla 5.3.1.9a como a continuación se describe:

- 1.- En la primera columna se anotarán tanto para ejes sencillos como en tandem las diferentes cargas que circularán sobre el pavimento.
- 2.- En la columna 2 la carga del tránsito se afecta por un factor de seguridad.
- 3.- En la columna 3. se determinará el esfuerzo actuante por medio de gráficas de diseño para cargas en ejes sencillos y carga en tandem como se muestra en la figura 5.3.1.3. y 5.3.1.4. para el uso de estas gráficas se requiera conocer la carga por eje, el módulo de reacción de la sub.base y el espesor de la losa de concreto.
- 4.- En la columna 4. se calcula la relación de esfuerzos la cual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Rr = \frac{Mr(\text{actuante})}{Mr(\text{disponible})}$$

donde:

Rr = Relación de esfuerzos

Mr (actuante) = Esfuerzo actuante obtenido de graficas 5.3.1.3. y 5.3.1.4.

Mr (disponible) = Esfuerzo disponible obtenido de la prueba a flexión del concreto a los 28 días de edad.

- 5.- En la columna 5. se anotan las repeticiones de carga esperada estas se calculan a partir de los siguientes datos: tránsito equivalente acumulado y un factor de distribución el cual se da por cada 1000 ejes para determinada carga circulante en la carretera de proyecto; para ello se hará uso de la tabla 5.3.1.6a.

- 6.- En la columna 6. se realiza el análisis por fatiga para ello se anotarán las repeticiones de carga permitidas haciendo uso de la tabla 5.3.1.3a. la cual correlaciona el valor de relación de resistencias con el número de repeticiones de la carga correspondiente que se puede soportar sin falla. Este valor estará en función pués de el esfuerzo actuante y el disponible. En esta tabla se supone que una carga que aplique a las losas un valor de M_r tal que la relación de resistencias sea menor que 0.5, puede aplicarse cualquier número de veces sin falla.**
- 7.- En la columna 7. se calcula lo que la PCA denomina "Porcentaje de fatiga", mediante la división de repeticiones esperadas de la columna 5 entre repeticiones permitidas de la columna 6; y expresa lo que cada una de las cargas por eje, que circulan en el pavimento, contribuyen a la falla final por fatiga de este.**
- 8.- En la columna 8, se realizará el análisis por erosión para lo cuál se anóten las repeticiones de carga permisibles utilizando las tablas 5.3.1.7a y 5.3.1.8a o bien las tablas 5.3.1.7b y 5.3.1.8b dependiendo si se consideran o no juntas de transmisión de carga; o si es con o sin acotamiento de concreto; con dichas tablas se obtiene el factor de erosión con el cuál se entra al nomograma de la figura 5.3.1.5 obteniendo así la repetición de cargas permisibles.**
- 9.- En la columna 9. se calcula lo que la PCA denomina "Porcentaje de erosión", mediante la división de repeticiones esperadas de la columna 5 entre repeticiones permitidas de la columna 8; y expresa lo que cada una de las cargas por eje, que circulan en el pavimento, contribuyen a la falla final por**

erosión de este.

La sumatoria total de los porcentajes anotados (fatiga + erosión) se acepta como índice de la capacidad total del pavimento; el valor ideal correcto para la suma en cuestión será el 100% pero la PCA permite en su método aceptar inclusive cifras mayores, con tal de no exceder el 125% si el valor es muy bajo esto es menor a 85% es recomendable repetir la secuela de cálculo utilizando un espesor de losa menor o bien un M_r de proyecto menor.

Es de notar que este método requiere de un análisis de tránsito riguroso.

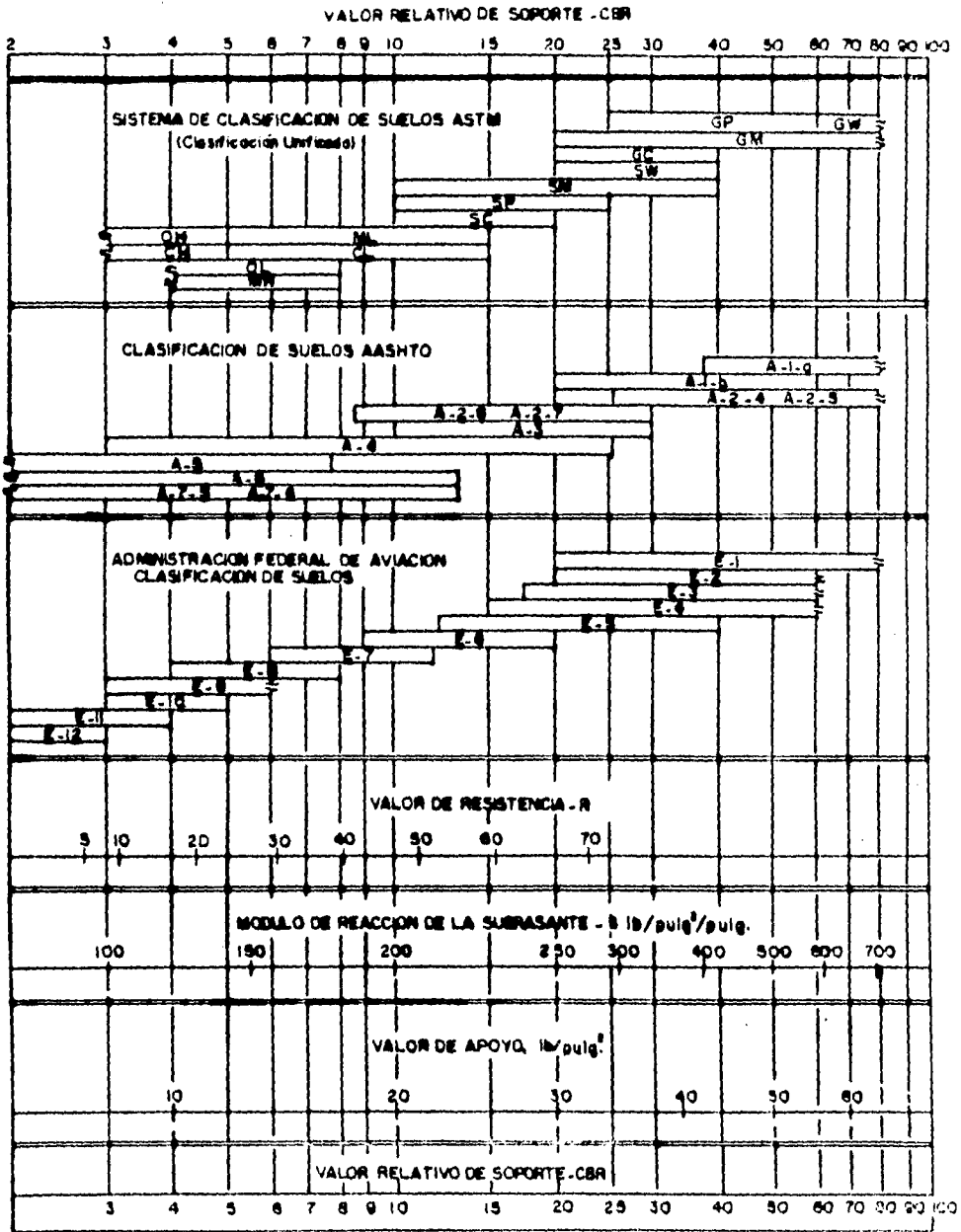


TABLA 5.3.1.4a ESTIMACION DEL MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE.

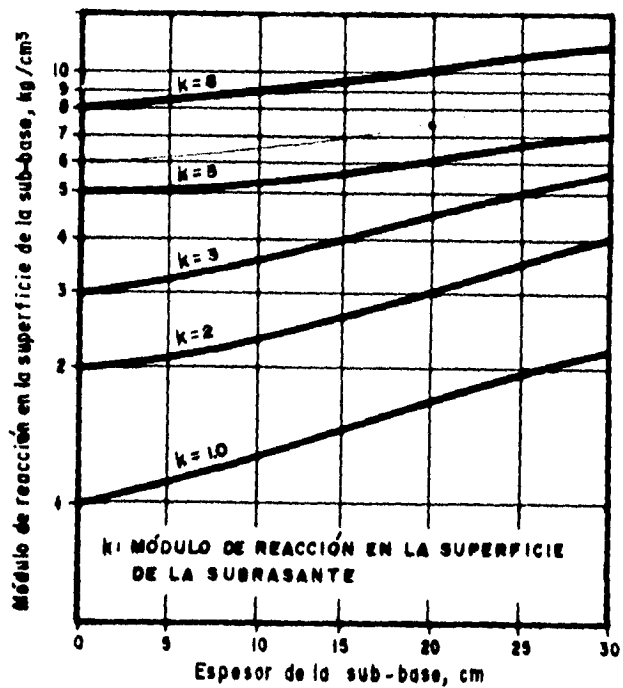


Fig 5.3.1.1 Gráfica para obtener el valor k sobre la sub-base conocido el mismo sobre la subrasante. Sub-bases no estabilizadas.

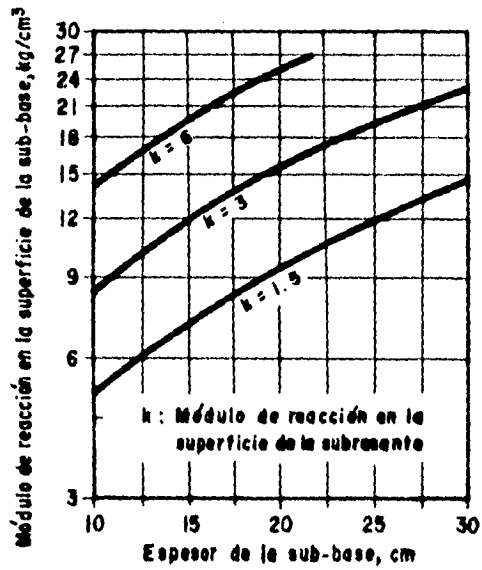


Fig 5.3.1.2 Gráfica para obtener el valor k sobre la sub-base conocido el mismo sobre la subrasante. Sub-bases estabilizadas con cemento.

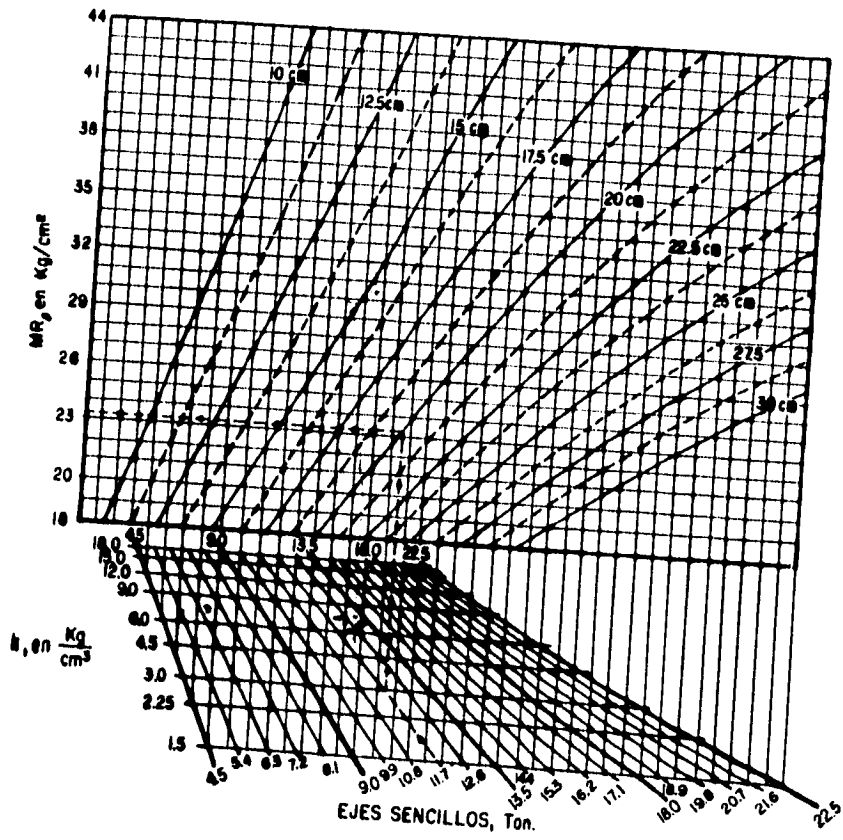


Fig 5.3.1.3 GRAFICA DE DISEÑO PARA CARGAS EN EJES SENCILLOS.

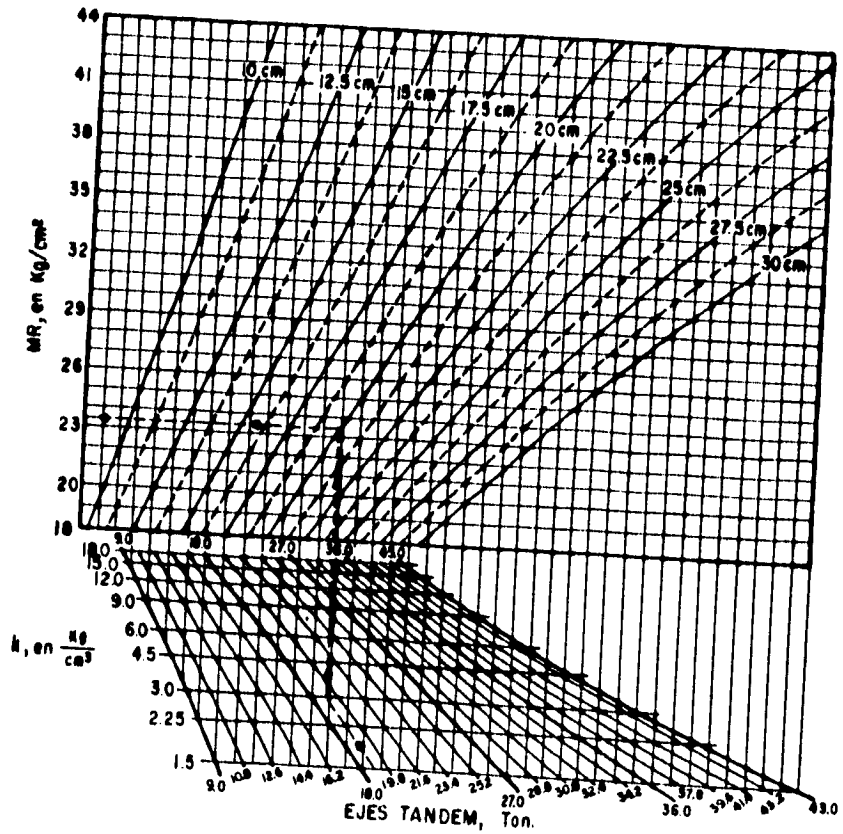


Fig 5.3.1.4 GRAFICA DE DISEÑO PARA CARGA EN TANDEM.

METODO PCA

CALCULO DEL TRANSITO DE DISEÑO ACUMULADO.

$$TD = \frac{100P}{100 + Tph(J-1)} \times \frac{5000N}{KD}$$

P = 1200 vehículos (Autopista suburbana)

Tph = 2/3 * .47 = 31.33%

N = 4 Carriles

J = 4

K = 12%

D = 60%

$$TD = \frac{100(1200)}{100 + [(31.33)(3)]} \times \frac{5000(4)}{(12)(60)} = \frac{12000}{194.0} \times \frac{20000}{720} = 17182$$

$$vph = \frac{17182}{2(24)} = 357$$

vph = volumen promedio horario de vehiculos en un sentido

PCCD = % de camiones en el carril de diseño para carreteras de 4 carriles = 91/5%

de la tabla 5.3.1.2a.

NVP = Número de vehículos pesados en ambas direcciones = 17182 (0.47) = 8075

Camiones en una dirección = 4038

Camiones pesados por un carril de diseño en un periodo de 20 años:

$$(4038)(0.915)(365)(20) = \underline{26'971,820 \text{ T. Acumulado}}$$

CALCULO DEL FACTOR DE DISTRIBUCION POR C/1000 EJES

CARGA POR EJE TON	TIPO DE VEHICULOS					
	B2	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3
EJES SENCILLOS						
5.5	304	1291	1033	9	807	830
10	304	1291		9		
EJES TANDEM						
18			1033	9	1734	830
22.5						830

TABLA5.3.1.5a

DISTRIBUCION DE VEHICULOS PESADOS

CARGA POR EJE TON	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS	ACTOR DE DISTRIBUCION POR CADA/1000 EJES	REPETICIONES DE CARGA ESPERADA
EJES SENCILLOS			
5.5	26,971,820	4.334	116,896
10	26,971,820	1.604	43,263
EJES TANDEM			
18	26,971,820	3.606	97,260
22.5	26,971,820	0.803	21,858

TABLA5.3.1.6a

Slab thickness in	# of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	1 74/3 83	1 73/3 79	1 72/3 75	1 71/3 73	1 70/3 70	1 68/3 67
4.5	1 59/3 70	1 57/3 66	1 56/3 61	1 55/3 58	1 54/3 55	1 52/3 51
5	1 45/3 58	1 43/3 52	1 42/3 48	1 41/3 45	1 40/3 42	1 36/3 40
5.5	1 33/3 47	1 31/3 41	1 29/3 36	1 28/3 33	1 27/3 30	1 26/3 28
6	1 22/3 38	1 19/3 31	1 18/3 26	1 17/3 23	1 15/3 20	1 14/3 17
6.5	1 11/3 29	1 09/3 22	1 07/3 16	1 06/3 13	1 05/3 10	1 03/3 07
7	1 02/3 21	1 99/3 14	1 97/3 08	1 96/3 05	1 95/3 01	1 94/2 98
7.5	1 93/3 14	1 91/3 06	1 88/3 00	1 87/2 97	1 86/2 93	1 84/2 90
8	1 85/3 07	1 82/2 99	1 80/2 93	1 79/2 89	1 77/2 85	1 76/2 82
8.5	1 77/3 01	1 74/2 93	1 72/2 86	1 71/2 82	1 69/2 78	1 68/2 75
9	1 70/2 96	1 67/2 87	1 65/2 80	1 63/2 76	1 62/2 71	1 61/2 68
9.5	1 63/2 90	1 60/2 81	1 58/2 74	1 58/2 70	1 55/2 65	1 54/2 62
10	1 56/2 85	1 54/2 76	1 51/2 68	1 50/2 64	1 48/2 59	1 47/2 56
10.5	1 50/2 81	1 47/2 71	1 45/2 63	1 44/2 59	1 42/2 54	1 41/2 51
11	1 44/2 76	1 42/2 67	1 39/2 58	1 38/2 54	1 36/2 49	1 35/2 45
11.5	1 38/2 72	1 36/2 62	1 33/2 54	1 32/2 49	1 30/2 44	1 29/2 40
12	1 33/2 68	1 30/2 58	1 28/2 49	1 26/2 44	1 25/2 39	1 23/2 36
12.5	1 28/2 64	1 25/2 54	1 23/2 45	1 21/2 40	1 19/2 35	1 18/2 31
13	1 23/2 61	1 20/2 50	1 18/2 41	1 16/2 38	1 14/2 30	1 13/2 27
13.5	1 18/2 57	1 15/2 47	1 13/2 37	1 11/2 32	1 09/2 26	1 08/2 23
14	1 13/2 54	1 11/2 43	1 08/2 34	1 07/2 29	1 05/2 23	1 03/2 19

TABLA 5.3.1.7a. Factores de erosión - Juntas con pasajuntas, sin acotamiento de concreto (eje sencillo/eje tandem)

Slab thickness in	# of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	1 94/4 03	1 91/3 95	1 88/3 89	1 86/3 86	1 82/3 83	1 77/3 80
4.5	1 79/3 91	1 76/3 82	1 73/3 75	1 71/3 72	1 68/3 68	1 64/3 65
5	1 66/3 81	1 63/3 72	1 60/3 64	1 58/3 60	1 55/3 55	1 52/3 52
5.5	1 54/3 72	1 51/3 62	1 48/3 53	1 48/3 49	1 43/3 44	1 41/3 40
6	1 44/3 64	1 40/3 53	1 37/3 44	1 35/3 40	1 32/3 34	1 30/3 30
6.5	1 34/3 56	1 30/3 46	1 26/3 36	1 25/3 31	1 22/3 25	1 20/3 21
7	1 26/3 49	1 21/3 39	1 17/3 29	1 15/3 24	1 13/3 17	1 11/3 13
7.5	1 18/3 43	1 13/3 32	1 09/3 22	1 07/3 17	1 04/3 10	1 02/3 06
8	1 11/3 37	1 05/3 26	1 01/3 18	1 98/3 10	1 96/3 03	1 94/2 99
8.5	1 04/3 32	1 98/3 21	1 93/3 10	1 91/3 04	1 88/2 97	1 87/2 93
9	1 98/3 27	1 91/3 16	1 86/3 05	1 84/2 99	1 81/2 92	1 79/2 87
9.5	1 92/3 22	1 85/3 11	1 80/3 00	1 77/2 94	1 75/2 86	1 73/2 81
10	1 86/3 18	1 79/3 06	1 74/2 95	1 71/2 89	1 68/2 81	1 66/2 76
10.5	1 81/3 14	1 74/3 02	1 69/2 91	1 65/2 84	1 62/2 76	1 60/2 72
11	1 77/3 10	1 69/2 98	1 63/2 86	1 60/2 80	1 57/2 72	1 54/2 67
11.5	1 72/3 06	1 64/2 94	1 58/2 82	1 55/2 76	1 51/2 68	1 49/2 63
12	1 68/3 03	1 60/2 90	1 53/2 78	1 50/2 72	1 46/2 64	1 44/2 59
12.5	1 64/2 99	1 55/2 87	1 48/2 75	1 45/2 68	1 41/2 60	1 39/2 55
13	1 60/2 96	1 51/2 83	1 44/2 71	1 40/2 65	1 36/2 56	1 34/2 51
13.5	1 56/2 93	1 47/2 80	1 40/2 68	1 38/2 61	1 32/2 53	1 30/2 48
14	1 53/2 90	1 44/2 77	1 36/2 65	1 32/2 58	1 28/2 50	1 25/2 44

TABLA 5.3.1.8a. Factores de erosión - Juntas con trabazón, sin acotamiento de concreto (eje sencillo/eje tandem)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.28/3.30	3.24/3.20	3.21/3.13	3.19/3.10	3.15/3.09	3.12/3.08
4.5	3.13/3.19	3.09/3.08	3.06/3.00	3.04/2.96	3.01/2.93	2.98/2.91
5	3.01/3.09	2.97/2.98	2.93/2.89	2.90/2.84	2.87/2.79	2.85/2.77
5.5	2.90/3.01	2.85/2.89	2.81/2.79	2.79/2.74	2.76/2.68	2.73/2.65
6	2.79/2.93	2.75/2.82	2.70/2.71	2.68/2.65	2.65/2.58	2.62/2.54
6.5	2.70/2.86	2.65/2.75	2.61/2.63	2.56/2.57	2.55/2.50	2.52/2.45
7	2.61/2.79	2.56/2.68	2.52/2.58	2.49/2.50	2.46/2.42	2.43/2.38
7.5	2.53/2.73	2.48/2.62	2.44/2.50	2.41/2.44	2.38/2.36	2.35/2.31
8	2.46/2.68	2.41/2.58	2.36/2.44	2.33/2.38	2.30/2.30	2.27/2.24
8.5	2.39/2.82	2.34/2.51	2.29/2.39	2.26/2.32	2.22/2.24	2.20/2.18
9	2.32/2.57	2.27/2.46	2.22/2.34	2.19/2.27	2.16/2.19	2.13/2.13
9.5	2.26/2.52	2.21/2.41	2.16/2.29	2.13/2.22	2.09/2.14	2.07/2.08
10	2.20/2.47	2.15/2.36	2.10/2.25	2.07/2.18	2.03/2.09	2.01/2.03
10.5	2.15/2.43	2.09/2.32	2.04/2.20	2.01/2.14	1.97/2.05	1.95/1.99
11	2.10/2.39	2.04/2.29	1.99/2.16	1.95/2.09	1.92/2.01	1.89/1.95
11.5	2.05/2.35	1.98/2.24	1.93/2.12	1.89/2.05	1.87/1.97	1.84/1.91
12	2.00/2.31	1.94/2.20	1.88/2.09	1.85/2.02	1.82/1.93	1.79/1.87
12.5	1.95/2.27	1.89/2.18	1.84/2.05	1.81/1.98	1.77/1.89	1.74/1.84
13	1.91/2.23	1.85/2.13	1.79/2.01	1.76/1.95	1.72/1.86	1.70/1.80
13.5	1.86/2.20	1.81/2.09	1.75/1.98	1.72/1.91	1.68/1.83	1.65/1.77
14	1.82/2.17	1.76/2.08	1.71/1.95	1.67/1.88	1.64/1.80	1.61/1.74

TABLA 5.3.1.7b. Factores de erosión - Juntas con pasajuntas, con acotamiento de concreto (eje sencillo/eje tandem)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.46/3.49	3.42/3.39	3.38/3.32	3.36/3.29	3.32/3.28	3.28/3.24
4.5	3.32/3.39	3.28/3.28	3.24/3.19	3.22/3.16	3.19/3.12	3.15/3.08
5	3.20/3.30	3.16/3.18	3.12/3.09	3.10/3.05	3.07/3.00	3.04/2.97
5.5	3.10/3.22	3.05/3.10	3.01/3.00	2.99/2.95	2.96/2.90	2.93/2.86
6	3.00/3.15	2.95/3.02	2.90/2.92	2.88/2.87	2.86/2.81	2.83/2.77
6.5	2.91/3.08	2.86/2.96	2.81/2.85	2.79/2.79	2.76/2.73	2.74/2.68
7	2.83/3.02	2.77/2.90	2.73/2.78	2.70/2.72	2.68/2.66	2.65/2.61
7.5	2.76/2.97	2.70/2.84	2.65/2.72	2.62/2.66	2.60/2.59	2.57/2.54
8	2.69/2.92	2.63/2.79	2.57/2.67	2.55/2.61	2.52/2.53	2.50/2.48
8.5	2.63/2.88	2.56/2.74	2.51/2.62	2.46/2.55	2.45/2.48	2.43/2.43
9	2.57/2.83	2.50/2.70	2.44/2.57	2.42/2.51	2.39/2.43	2.36/2.38
9.5	2.51/2.79	2.44/2.65	2.38/2.53	2.36/2.46	2.33/2.38	2.30/2.33
10	2.46/2.75	2.39/2.81	2.33/2.49	2.30/2.42	2.27/2.34	2.24/2.28
10.5	2.41/2.72	2.33/2.58	2.27/2.45	2.24/2.36	2.21/2.30	2.19/2.24
11	2.36/2.68	2.28/2.54	2.22/2.41	2.19/2.34	2.16/2.28	2.14/2.20
11.5	2.32/2.65	2.24/2.51	2.17/2.38	2.14/2.31	2.11/2.22	2.09/2.18
12	2.28/2.62	2.19/2.48	2.13/2.34	2.10/2.27	2.06/2.19	2.04/2.13
12.5	2.24/2.58	2.15/2.45	2.09/2.31	2.05/2.24	2.02/2.15	1.99/2.10
13	2.20/2.56	2.11/2.42	2.04/2.28	2.01/2.21	1.98/2.12	1.95/2.06
13.5	2.16/2.53	2.08/2.39	2.00/2.25	1.97/2.18	1.93/2.09	1.91/2.03
14	2.13/2.51	2.04/2.36	1.97/2.23	1.93/2.15	1.89/2.06	1.87/2.00

TABLA 5.3.1.8b. Factores de erosión - Juntas con pasajuntas, con acotamiento de concreto (eje sencillo/eje tandem)

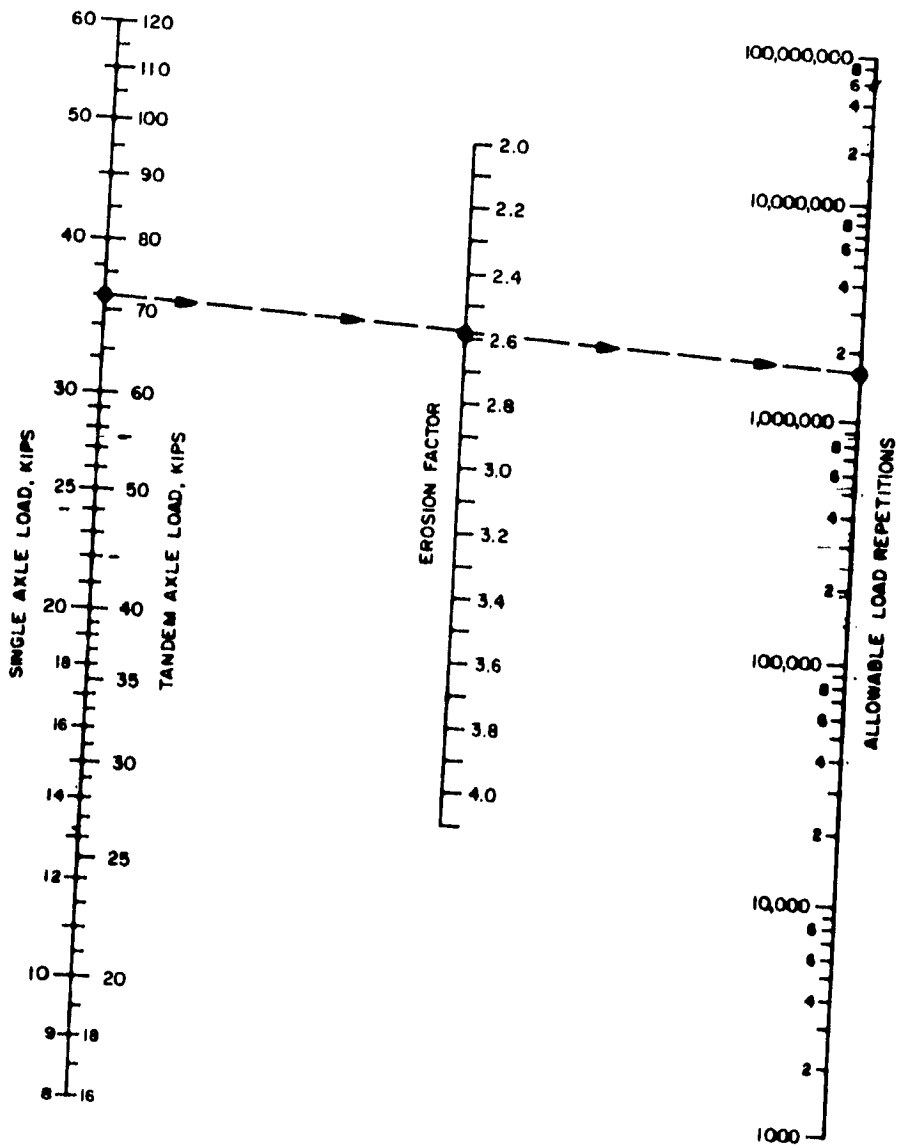


Fig. 5.3.1.5. Análisis por erosión - Repeticiones de carga permisibles basadas en el factor de erosión (sin acotamiento de concreto)

METODO PCA

DISEÑO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO CON CCR

DATOS DE ENTRADA:								
SUBRASANTE:		SUB-BASE		LOSA DE CCR				
VRS= 15%		VRS= 100%		Mr= 58.6 kg/cm ²		TDPA= 9,221		
K= 6.4 kg/cm ³		K= 7.5 kg/cm ³		e= 16.5 cm		TACUM=26,971,820		
e= 30 cm		e= 15 cm		FACTOR DE EROSION=3.25		fs= 1.2		
				ANALISIS POR FATIGA			ANALISIS POR EROSION	
CARGA POR EJE (TON)	CARGA POR EJE x fs (TON)	ESFUERZO ACTUANTE kg/cm ²	RELACION DE ESFUERZOS	REPETICION DE CAR GAS ESPERADAS	REPETICION DE CAR GAS PERMITIDAS	PORCENTAJE DE FATIGA	REPETICION DE CAR GAS PERMITIDAS	PORCENTAJE DE EROSION
EJES SENCILLOS								
5.5	6.6	18	0.31	116,896		0	6,000,000	2.0
10	12	26	0.44	43,263		0	190,000	22.7
EJES TANDEM								
18	21.6	27.5	0.47	97,260		0	300,000	32.4
22.5	27	33.5	0.56	21,658	100,000	21.6	90,000	24.0
SUMA=						21.6	SUMA=	81.1

202

TABLA 5.3.1.9a

METODO PCA

DISEÑO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO CON CONCRETO CONVENCIONAL

DATOS DE ENTRADA:									
SUBRASANTE:		SUB-BASE		LOSA DE CONCRETO CONVENCIONAL					
VRS= 15%		VRS= 100%		Mr= 55,14 kg/cm ²		TDPa= 9,221			
K= 6,4 kg/cm ³		K= 7,5 kg/cm ³		e= 18 cm		TACUM= 26,971,820			
e= 30 cm		e= 15 cm		FACTOR DE EROSION= 3,11		fs= 1,2			
					ANALISIS POR FATIGA		ANALISIS POR EROSION		
CARGA POR EJE (TON)	CARGA POR EJE x fs (TON)	ESFUERZO ACTUANTE kg/cm ²	RELACION DE ESFUERZOS	REPETICION DE CAR GAS ESPERADAS	REPETICION DE CAR GAS PERMITIDAS	PORCENTAJE DE FATIGA	REPETICION DE CAR GAS PERMITIDAS	PORCENTAJE DE EROSION	
EJES SENCILLOS									
5,5	6,6	18	0,33	116,896	-	0	22,000,000	0	
10	12	26,5	0,48	43,283	-	0	520,000	8,3	
EJES TANDEM									
18	21,6	27,8	0,50	97,280	-	0	880,000	11,0	
22,5	27	33,9	0,61	21,658	24,000	90,2	250,000	8,6	
SUMA=						90,2	SUMA=		27,9

207

TABLA 5.3.1.9a

5.3.2.- METODO AASHTO.

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.

• Efectos ambientales o del medio ambiente:

El medio ambiente puede afectar el desempeño del pavimento de diversas maneras; los cambios de temperatura y humedad pueden tener efectos sobre la resistencia, durabilidad y capacidad de carga del pavimento y del suelo de cimentación.

Otro grave impacto es el efecto directo de la expansión del suelo el movimiento de las losas o su desintegración que pueda tener sobre la calidad del manejo o serviciabilidad.

La temperatura afecta la contracción y la expansión del concreto hidráulico. El diferencial de temperatura y humedad entre la parte superior y la inferior de las losas de concreto en el pavimento rígido con juntas crea un pandeo de las losas que puede resultar en bombeo de finos a la superficie y en el deterioro estructural.

La precipitación, si se permite su penetración a la estructura del pavimento o al suelo de cimentación, influirá en las propiedades de estos materiales, y originan la pérdida de soporte.

• Índice de Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir el tipo de tránsito (automóviles y camiones) los cuales son usados en el camino. La principal medida de serviciabilidad es el índice de serviciabilidad; el cual presenta rangos de 0 (camino imposible o imperfecto) a 5 (camino perfecto). El diseño por medio del método AASHTO considera el concepto serviciabilidad desempeño el cual provee los medios o maneras de diseñar un pavimento basado sobre un volumen de tránsito total especificado y un grado mínimo de serviciabilidad al final del período de desempeño.

La selección del índice de serviciabilidad final (Pf) está basado en el índice más bajo que será tolerado antes de la rehabilitación o reconstrucción necesaria. Un índice de 2.5 o mayor se sugiere para carreteras principales y 2.0 para carreteras con volumen de tránsito bajo.

El índice de serviciabilidad inicial (Pi) es un estimado de lo que el índice de serviciabilidad será inmediatamente después de terminar la construcción. De acuerdo a valores obtenidos por pruebas realizadas en el AASHTO para pavimentos rígidos el valor de serviciabilidad resultó de 4.5 .

Para el diseño realizado en este capítulo se considera que la serviciabilidad final es de 2.0 y la serviciabilidad inicial es de 4.5 siendo el índice de serviciabilidad igual a 2.5

Los factores que afectan la pérdida de serviciabilidad de un pavimento son:

- tránsito
- edad
- medio ambiente

La gráfica de pérdida de serviciabilidad contra tiempo mostrada en la fig 5.3.2.1 nos indica que la pérdida total de serviciabilidad es un resultado de la sumatoria de pérdidas de serviciabilidad debido al tránsito y las perdidas debidas a la expansión o algunos otros agentes como las heladas del suelo de cimentación. Obviamente si solo se considera la expansión o el tránsito será solo una curva sobre la gráfica la que se tendrá que interceptar.

Esto se puede simplificar mediante la siguiente ecuación:

PSI_{TOT} = pérdida total de serviciabilidad,

$PSI_{tráfico}$ = pérdida de serviciabilidad debido al tránsito y

PSI_{sw} = pérdida de serviciabilidad debida a la expansión del suelo de cimentación.

Fig 5.3.2.1 Gráfica pérdida de serviciabilidad vs tiempo

• **Tránsito.**

La información de tránsito requerida para el diseño incluye las cargas por eje, las configuraciones de los ejes, y el número de aplicaciones. Se ha demostrado que el daño que genera un eje de cualquier peso puede ser representado por un número equivalente de ejes sencillos de 18 kips. La determinación de número de cargas equivalentes de 18 kips es de suma importancia para la realización del diseño.

El procedimiento para convertir un flujo vehicular mixto con diferentes cargas de ejes y configuraciones en un número de tránsito de diseño consiste en convertir cada carga de eje esperado en un número equivalente de cargas de eje sencillo de 18 kips.

Existen cuatro consideraciones importantes que influyen en la precisión de los estimados de tránsito:

- Los factores de equivalencia de cargas
- La precisión de la información de volúmenes y pesos
- La predicción de cargas equivalentes a lo largo del período de diseño
- La veracidad de la tasa de crecimiento del tránsito.

El procedimiento de diseño para carreteras esta basado en acumular las cargas por ejes sencillos equivalentes esperados de 8.2 TON (18 KIPS) durante el periodo de análisis (w_{18}).

El procedimiento para convertir tránsito mixto a aquellos de ejes equivalentes 8.2 TON se obtiene por medio de factores de carga de ejes equivalentes (sencillos, tandem y triples) que se muestran en las tablas 5.3.2.1a , 5.3.2.1b , 5.3.2.1c.

Para calcular el tránsito acumulado en el carril de diseño en función de ejes equivalentes en el periodo de análisis se emplea la siguiente ecuación:

$$W_{18} = D_D \times D_L \times w_{18}$$

donde:

W_{18} = Tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 TON en el carril de diseño en el período de análisis.

D_D = Factor de distribución direccional expresado como una relación generalmente de 0.5 (50%) pudiendo oscilar en un rango de 0.3 - 0.7

D_L = Factor de distribución por carril este se obtiene de tabla 5.3.2.2a.

w_{18} = Tránsito de ejes equivalentes de 8.2 TON

Propiedades de los materiales para el diseño del pavimento.

• **Módulo de resiliencia efectivo del suelo de cimentación.**

La forma en que se caracteriza a los materiales en este método es a través del módulo resiliencia. Para los materiales de cimentación se debe determinar el módulo de resiliencia en el laboratorio (según prueba AASHTO T274) en muestras representativas en condiciones de esfuerzo y humedad que simulen a las presentes en campo durante la temporada de mayor humedad.

Alternativamente los valores del módulo de resiliencia para la temporada pueden ser determinados por correlaciones con las propiedades del suelo; por ejemplo contenido de arcilla, humedad, índice plástico, etc. El objetivo de identificar módulos para cada temporada es cuantificar el daño relativo que sufre el pavimento durante cada estación del año y considerarlo como parte del diseño total.

El módulo efectivo de resiliencia para el suelo de cimentación se establece a partir de una equivalencia de efectos combinados de todos los valores para el módulo a lo largo del año.

Las condiciones temporales de humedad para las cuales deben hacerse las pruebas en las muestras deben ser aquellas para las cuáles existe una diferencia significativa en el módulo de resiliencia.

• **Módulo de reacción efectivo en la subrasante.**

Para pavimentos rígidos se debe desarrollar un módulo de reacción efectivo de la subrasante (k). Dado que el valor de k es directamente proporcional al módulo de resiliencia del suelo de cimentación, las estaciones y los módulos para cada una de ellas establecidos en la sección anterior se utilizan para estimar el valor efectivo de diseño de k . Sin embargo, debido a los efectos de las características de la sub-base sobre el valor efectivo de k , su determinación es incluida como un paso dentro de un proceso iterativo.

• **Características de los materiales de las capas del pavimento.**

Hay muchos tipos de propiedades del material y procedimientos de prueba en el laboratorio para determinar el esfuerzo de los materiales que integran la sección del pavimento el cuál será usado para el diseño en este método.

El Módulo de Elasticidad es una propiedad ingenieril fundamental de cualquier material de pavimentación o del suelo. Para aquellos materiales sujetos a deformaciones permanentes significativas bajo la acción de las cargas, esta propiedad puede no reflejar el comportamiento del material bajo la carga.

Por esto, el módulo de resiliencia refiere el comportamiento esfuerzo-deformación del material bajo condiciones normales de carga del pavimento. La resistencia del material es importante además de su rigidez.

El módulo de elasticidad para cualquier tipo de material puede también ser estimado utilizando correlaciones desarrolladas por el departamento de estado de transporte o por alguna otra agencia de reputación. La siguiente correlación es recomendada por el ACI para concreto hidráulico.

$$E_c = 57000 (f'_c)^{0.5}$$

donde:

E_c = Módulo de elasticidad.

f'_c = Esfuerzo de compresión del concreto.

• Resistencia a la tensión en Flexión o Módulo de ruptura.

El módulo de ruptura (resistencia a la flexión) del concreto se requiere para el diseño de pavimentos rígidos. Es el valor determinado a los 28 días de edad de una viga simplemente apoyada sujeta a flexión.

Debido al tratamiento de la confiabilidad en este método, se recomienda que la especificación normal de construcción para el módulo de ruptura (resistencia a flexión) no sea utilizada como dato de entrada en el diseño, pues representa un valor abajo del cuál se encuentra solo un pequeño porcentaje de la distribución.

• **Coefficiente de drenaje (Cd).**

El tratamiento para el nivel esperado de drenaje para un pavimento rígido se realiza por medio del uso de coeficientes de drenaje Cd, en la ecuación de desempeño (Tiene un efecto similar al coeficiente de transferencia). La tabla 5.3.2.1a. proporciona valores de Cd recomendados.

Para el diseño del pavimento en este capítulo se utiliza un coeficiente de drenaje de 1.10% ya que se considera buena calidad de drenaje y un porcentaje de tiempo que el pavimento estará saturado de 20%.

Calidad de drenaje	porcentaje de tiempo que el pavimento esta saturado			
	1%	1-5%	5-25%	25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Buena	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Mala	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy mala	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

TABLA 5.3.2.1a .- Valores recomendados para el coeficiente de drenaje, Cd para el diseño de pavimentos rígidos

*** Transferencia de carga**

El coeficiente de transferencia de carga , J , es un factor usado en el diseño de pavimentos rígidos para tomar en cuenta la capacidad de la estructura del pavimento de concreto para transferir (distribuir) la carga mediante las discontinuidades, tal como las juntas y las grietas. La tabla 5.3.2.2a establece rangos de coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas mediante la experiencia y análisis mecánico de esfuerzos.

Para el diseño del pavimento en este capítulo se utiliza un coeficiente de transferencia de carga de 3.6 ya que a pesar de que no se colocarán barras lisas se aserrará la parte superficial del espesor de la losa (juntas de contracción) que permiten que en el concreto exista transferencia de carga entre losas esto se detalla en la parte de aspectos constructivos en este capítulo.

Acotamiento	Asfalto.		Concreto.	
	SI	NO	SI	NO
Dispositivos de transferencia de carga				
Tipo de pavimento				
Simple con juntas	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
Reforzado continuamente	2.9-3.2	N/A	2.3-2.9	N/A

TABLA 5.3.2.2a .- Coeficientes de transferencia de carga recomendados para condiciones varias

• **Pérdida de soporte (LS).**

Este factor es incluido en el diseño de pavimentos rígidos y toma en cuenta la pérdida potencial del soporte debido a la erosión de la sub-base y/o movimientos verticales del suelo. Se incluye en el procedimiento de diseño disminuir el valor efectivo o compuesto k basado en el tamaño de los vacíos que puedan desarrollarse debajo de la losa. La tabla 5.3.2.3a. sugiere algunos rangos de LS dependiendo de el tipo de material (específicamente su rigidez o módulo elástico) Obviamente si se consideran para el diseño varios tipos de base o sub-base se deben determinar los correspondientes valores de Pérdida de soporte LS para cada tipo.

El valor de soporte podrá ser considerado en términos de movimientos diferenciales del suelo que puede resultar en vacíos debajo de las losas del pavimento. Por lo tanto utilizando una sub-base no susceptible, se pueden desarrollar vacíos que reducen la vida del pavimento. Generalmente para arcillas activas expansivas el valor para pérdida de soporte LS es de 2.0 a 3.0 .

Tipo de Material	Pérdida de soporte
Base Granular Tratada con Cemento (E = 1×10^6 a 2×10^6 psi)	0.0-1.0
Mezclas agregado cemento (E = 500,000 a 1×10^6 psi)	0.0-1.0
Base tratada con asfalto (E = 350,000 a 1×10^6 psi)	0.0-1.0
Mezclas Bituminosas Estabilizadas (E = 20,000 a 70,000 psi)	0.0-1.0
Estabilizada con cal (E = 20,000 a 70,000 psi)	1.0-3.0
Materiales granulares sin tratamiento (E = 15,000 a 45,000 psi)	1.0-3.0
Granulometría fina o Natural (E = 3,000 a 40,000 psi)	2.0-3.0

TABLA 5.3.2.3a.- Rangos típicos de los factores de pérdida de soporte para varios tipos de material

DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO.

Para el diseño del espesor del pavimento se usan los siguientes datos de entrada:

- **Valor relativo de soporte de la subrasante y de la sub-base este valor será el mínimo de acuerdo a lo que fijan las especificaciones de la S.C.T.**
- **Espesor de la subrasante y sub-base recomendados según la experiencia.**
- **El espesor de la losa de concreto.**
- **El módulo de ruptura del concreto a los 28 días de edad.**
- **El tránsito acumulado de ejes equivalentes de 8.2 ton.**
- **El módulo de reacción efectivo de la subrasante que se obtendrá llenando la tabla 5.3.2.4a como a continuación se describe: En la segunda columna de la tabla se identifican los valores temporales del módulo de resiliencia del suelo de cimentación; en la tercera columna se anotarán los valores temporales del módulo de resiliencia de la sub-base. Para aquellos tipos de sub-bases que son insensibles a las variaciones de estación (materiales tratados con cemento), se puede asignar un valor constante al módulo de reacción para cada estación. Para los materiales sin cementar, la razón del módulo de resiliencia de la sub-base al de la subrasante no debe exceder de 4 para prevenir una condición**

artificial; la cuarta columna nos proporciona el módulo de reacción compuesto de la subrasante este valor se obtiene utilizando la figura 5.3.2a mediante datos conocidos en la columna 2 y 3 ; en la columna 5 se anotará el valor de K sobre la cimentación rígida utilizando la figura 5.3.3a mediante datos conocidos de la columna 2 y 4, asumiendo una profundidad semi-infinita de la subrasante; en la sexta columna se anotará el daño relativo, este valor se obtiene utilizando la figura 5.3.4a. La sumatoria de toda esta columna dividida entre el número de meses nos proporciona el dato promedio de daño relativo con el cual entramos nuevamente a la figura 5.3.4a y obtenemos el módulo de reacción efectivo de la subrasante para hacer uso de esta figura o gráfica se requiere suponer el espesor de la losa. Finalmente se corrige el modulo de reacción efectivo de la subrasante por pérdida de soporte esto mediante la figura 5.3.5a para lo cuál será necesario conocer la pérdida de soporte de la sub-base, siendo este valor el módulo de reacción efectivo de la subrasante utilizado para el diseño del espesor del pavimento.

- La desviación estándar total

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

El procedimiento es el siguiente:

1.- Se calcula el tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 Ton.; como se muestra en la tabla 5.3.2.5a

2.- Se utilizará el nomograma de diseño 5.3.6a y 5.3.6b donde se requerirán los siguientes datos:

Módulo elástico del concreto, E_c (10^6 psi)

Módulo de reacción efectivo de la subrasante, k (pci)

Módulo de ruptura del concreto S'_c (psi)

Coefficiente de transferencia de carga (J)

Coefficiente de drenaje, C_d

Pérdida de serviciabilidad de diseño, dps

Espesor de la losa de concreto, D (pulgadas)

Total estimado de Aplicaciones de carga en ejes equivalentes a 18 kip

Desviación estandar total

Confiability, $R\%$

DISEÑO DEL ESPESOR DE PAVIMENTO CON CCR

Se consideran los siguientes datos de entrada

Datos:

Subrasante:

VRS = 15%

e = 30 cm

K = 230 pci

Sub-base:

VRS = 100%

e = 15 cm

Losa:

Módulo elástico del concreto, $E_c = 4.1 \cdot 10^6$ (psi)

Módulo de ruptura del concreto $S'_c = 840$ (psi)

Coefficiente de transferencia de carga (J) = 3.6 (sin juntas)

Coefficiente de drenaje, $C_d = 1.1$

Pérdida de serviciabilidad de diseño, $dps = 2.5$

Total estimado de Aplicaciones de carga en ejes equivalentes a 8.2 ton.

= 67'493,000

Desviación estándar total, $S_o = 2.5$

Confiabilidad, $R\% = 90$

Espesor de losa obtenido: 10.0" = 25 cm.

DISEÑO DEL ESPESOR DE PAVIMENTO CON C.H.

Datos:

Subrasante:

VRS = 15%

e = 30 cm

K = 230 pci

Sub-base:

VRS = 100%

e = 15 cm

Losa:

Módulo elástico del concreto, $E_c = 4.1 \cdot 10^6$ (psi)

Módulo de ruptura del concreto $S'_c = 785$ (psi)

Coefficiente de transferencia de carga (J) = 2.5 (con juntas) amarre

Coefficiente de drenaje, $C_d = 1.1$

Pérdida de serviciabilidad de diseño , $dps = 2.5$

**Total estimado de Aplicaciones de carga en ejes equivalentes a 8.2 ton.
= 67'443,000**

Desviación estandar total, $S_o = 2.5$

Confiability, $R\% = 90$

Esesor de losa obtenido: 9.4" = 24 cm.

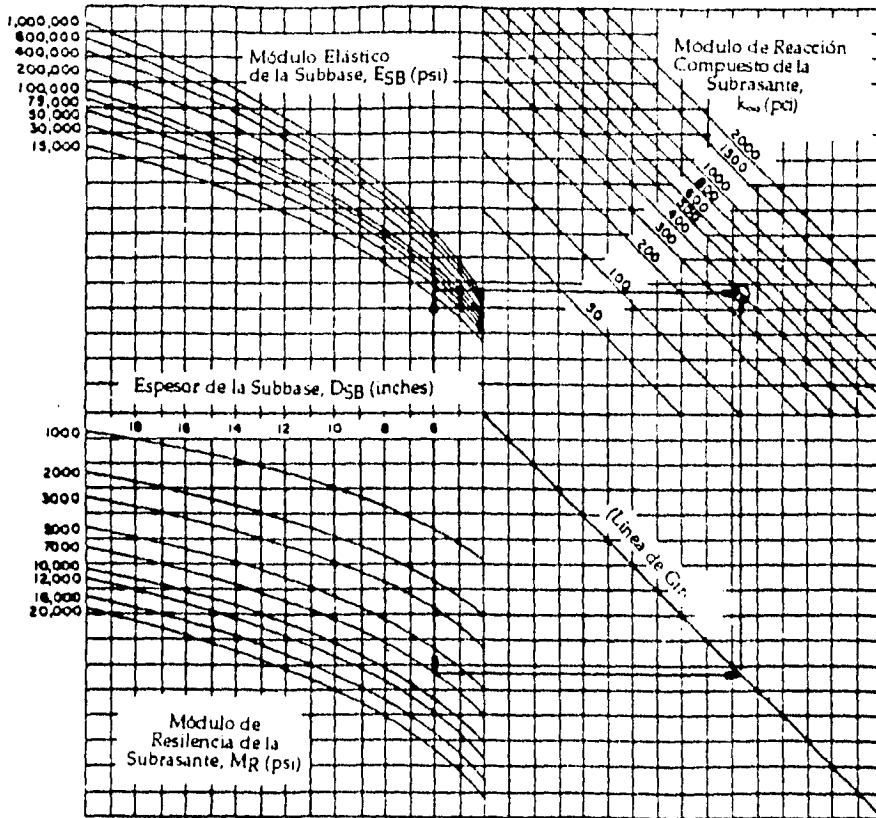


Fig. 5.3.2a. Gráfica para estimar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, k , asumiendo un espesor semi-infinito de la subrasante (Prácticamente un espesor semi-infinito es aquél mayor que 3m).

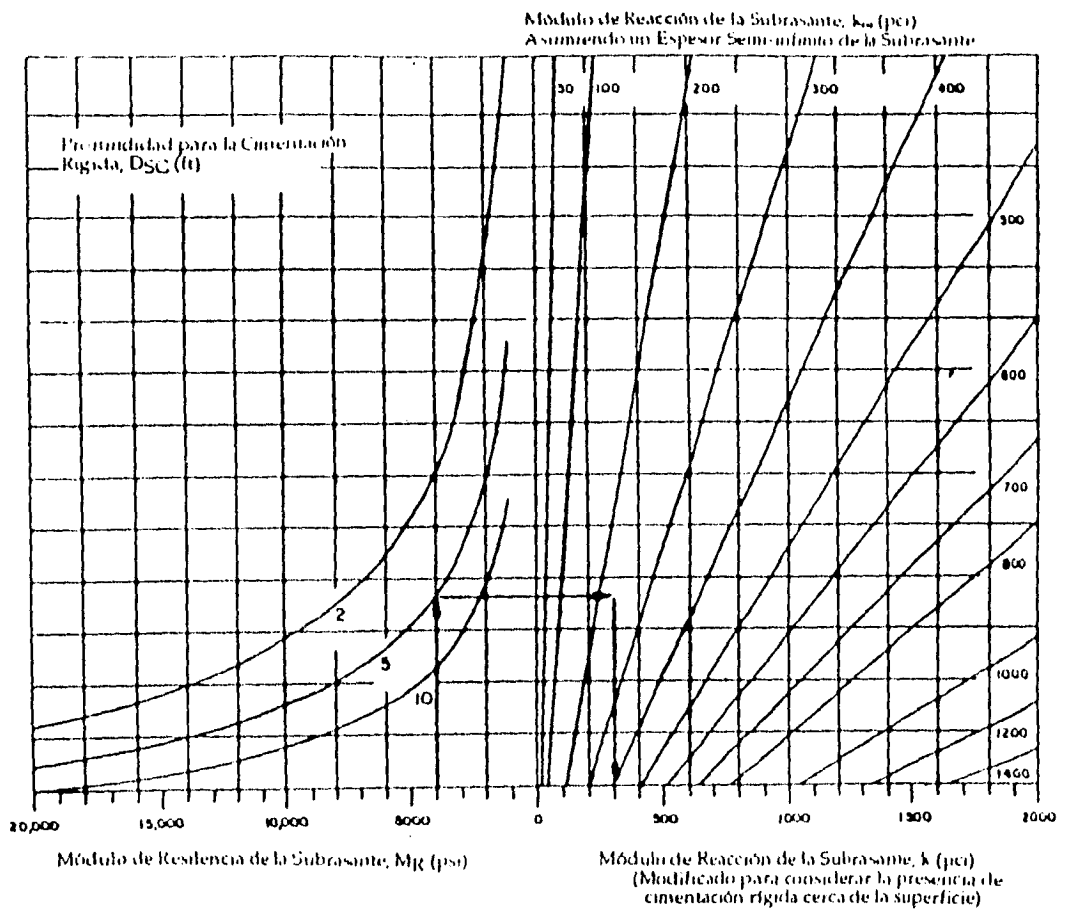


Fig. 5.3.3a. Gráfica para modificar el módulo de reacción de la subrasante para considerar los efectos de cimentación rígida cerca de la superficie (3m).

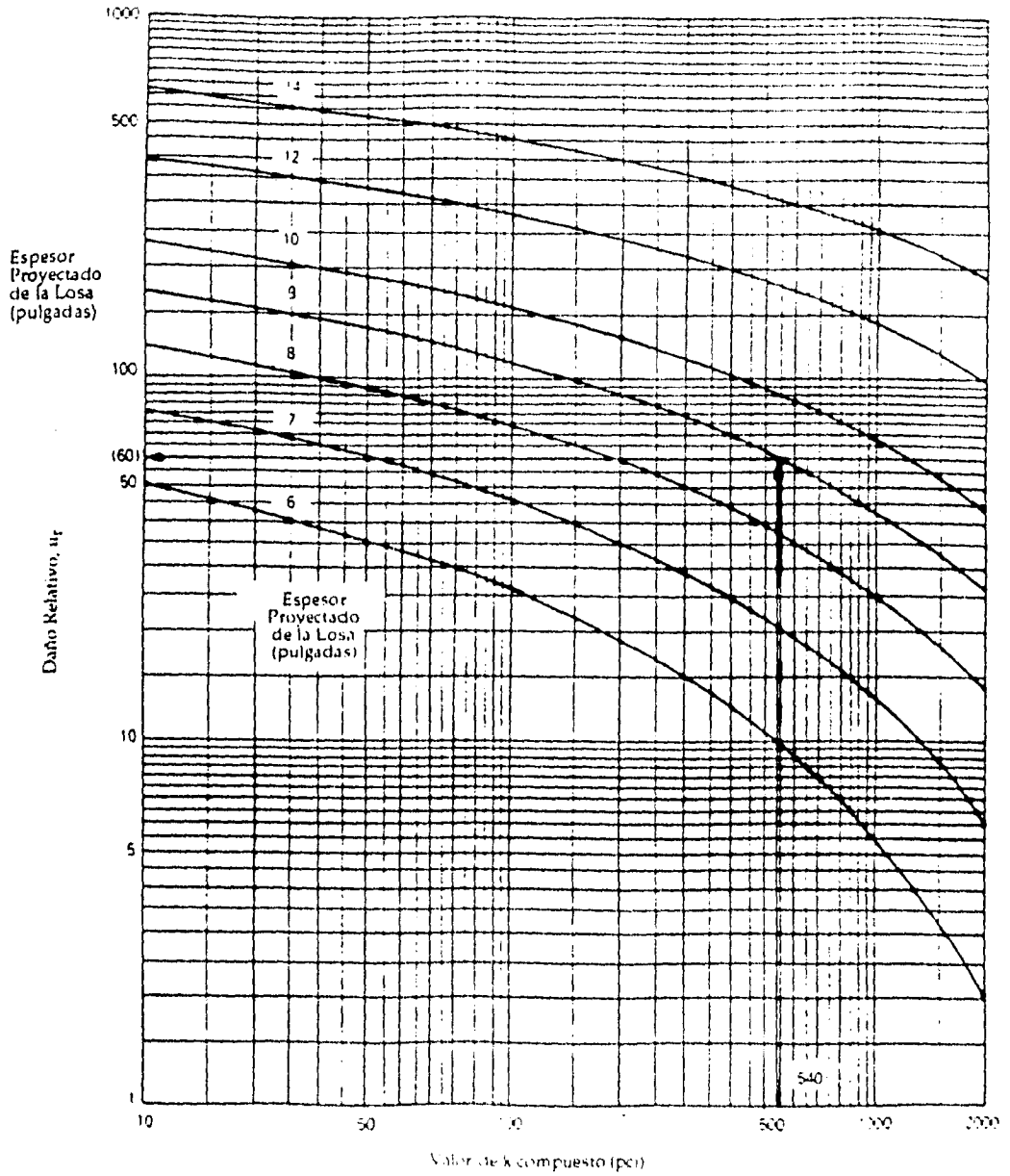


Fig. 5.3.4a Gráfica para estimar el daño relativo en el pavimento rígido basada en el espesor de la losa y el soporte de la cimentación.

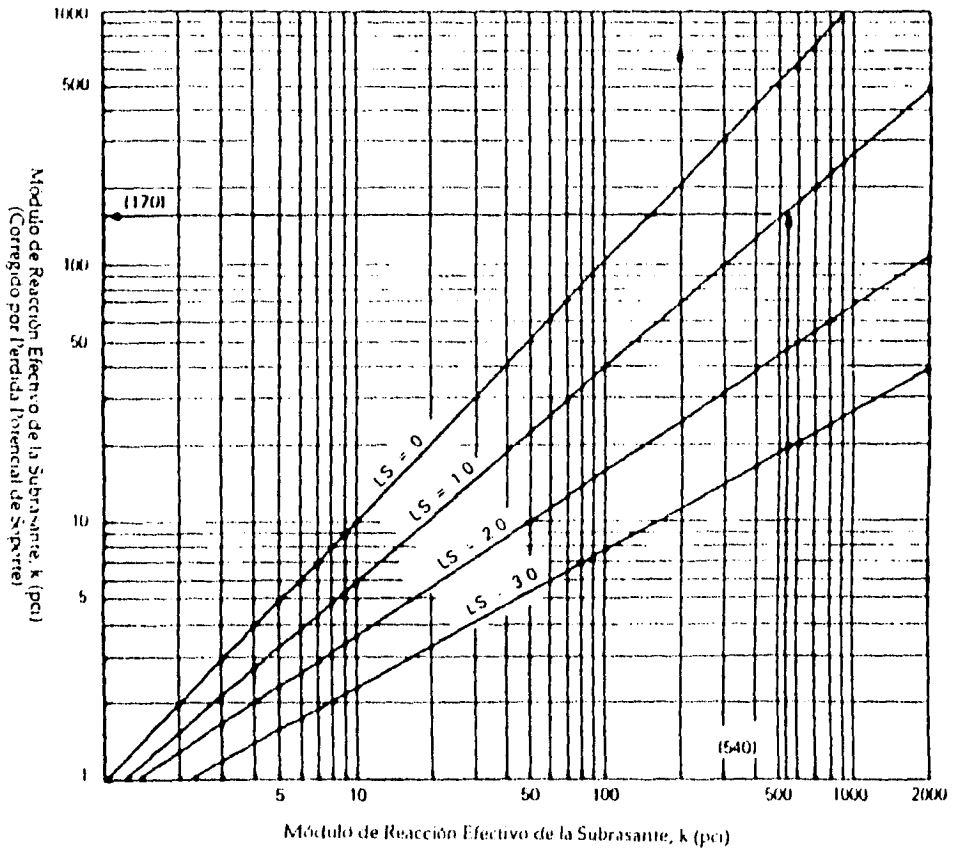


Fig. 5.3.5a. Gráfica para corregir el modulo de reacción efectivo de la subrasante por pérdida potencial de soporte de la sub-base.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
MONTH	ROADBED MODULUS, E_p (psi)	SUBBASE MODULUS, E_{SB} (psi)	COMPOSITE b-VALUE (pci) (Fig. 3.3)	b-VALUE (pci) ON BICID FOUNDATION (Fig. 3.4)	RELATIVE DAMAGE % (Fig. 3.5)
Jan.					
Feb.					
Mar.					
April					
May					
June					
July					
Aug.					
Sept.					
Oct.					
Nov.					
Dec.					
Average: $\bar{E}_p = \frac{\sum E_p}{n}$				Summation: $\sum E_p =$	

Effective Modulus of Subgrade Reaction, k (pci) = _____
 Constant for Line of Support: k (pci) = _____

TABLA 5.3.2.4a.

METODO AASHTO

CALCULO DEL TRANSITO ACUMULADO EN FUNCION DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON.

CARRETERA: Queretaro - León	TDPA=9.221	FACTOR DE CARRIL=80%
SUBTRAMO : 7+000-10+500	PORCENTAJE DE CAMIONES= 47%	FACTOR DIRECCIONAL=40%
TRAMO: Queretaro-Guanajuato	AÑOS DE SERVICIO=20 Años	TASA DE CRECIMIENTO= 5%

230

COMPOSICION VEHICULAR	NO. DE VEHICULOS AMBAS DIRECCIONES	NO. DE VEHICULOS UNA DIRECCION	NO. DE VEHICULOS EN EL CARRIL DE PROYECTO	COEFICIENTE DE DAÑO	TRANSITO EN EL PERIODO	CARGA TOTAL DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO (w18)						
							53.0%	0.0%	3.3%	0.0%	0.0%	14.0%
A2	4.887	2.444	1955	0.0004	53.102.386	21.241						
A' 2	0	0	0	0.042	0	0						
B2	304	152	122	2.413	3.303.279	7.970.812						
B3	0	0	0	0.225	0	0						
B4	0	0	0	1.201	0	0						
C2	1291	645	516	2.413	14.028.070	33.849.733						
C3	1033	517	413	3.723	11.224.629	41.789.294						
C4	0	0	0	2.963	0	0						
T2-S1	0	0	0	4.623	0	0						
T2-S2	9	4	7	5.933	97.794	580.212						
T3-S2	867	434	347	7.243	9.420.865	68.235.325						
T3-S3	830	415	332	6.483	9.018.821	58.469.017						
T2-S2-R2	0	0	0	10.353	0	0						

SUMA= 210.915.633

W18=CARGA TOTAL DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN EL CARRIL DE DISEÑO= 67,463,888
W18=CARGA TOTAL DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN EL PERIODO DE DISEÑO= 210,915,633
Dd= FACTOR DIRECCIONAL=0.4
Dl= FACTOR DE CARRIL=0.8

$$W_{18} = w_{18} \times D_d \times D_l$$

TABLA 5.3.2.5a

DISEÑO DE ESPESOR CON PAVIMENTO CCR

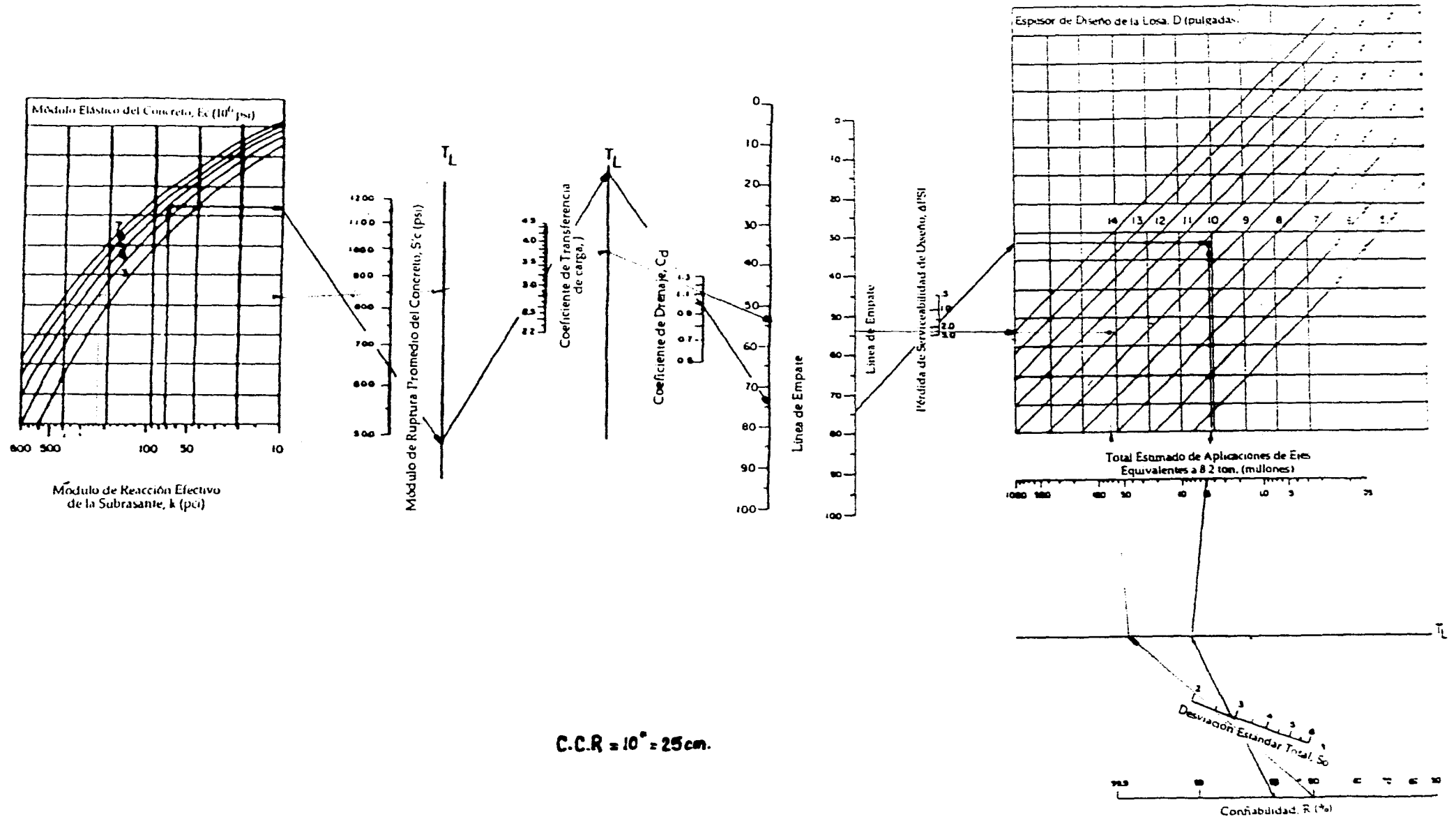
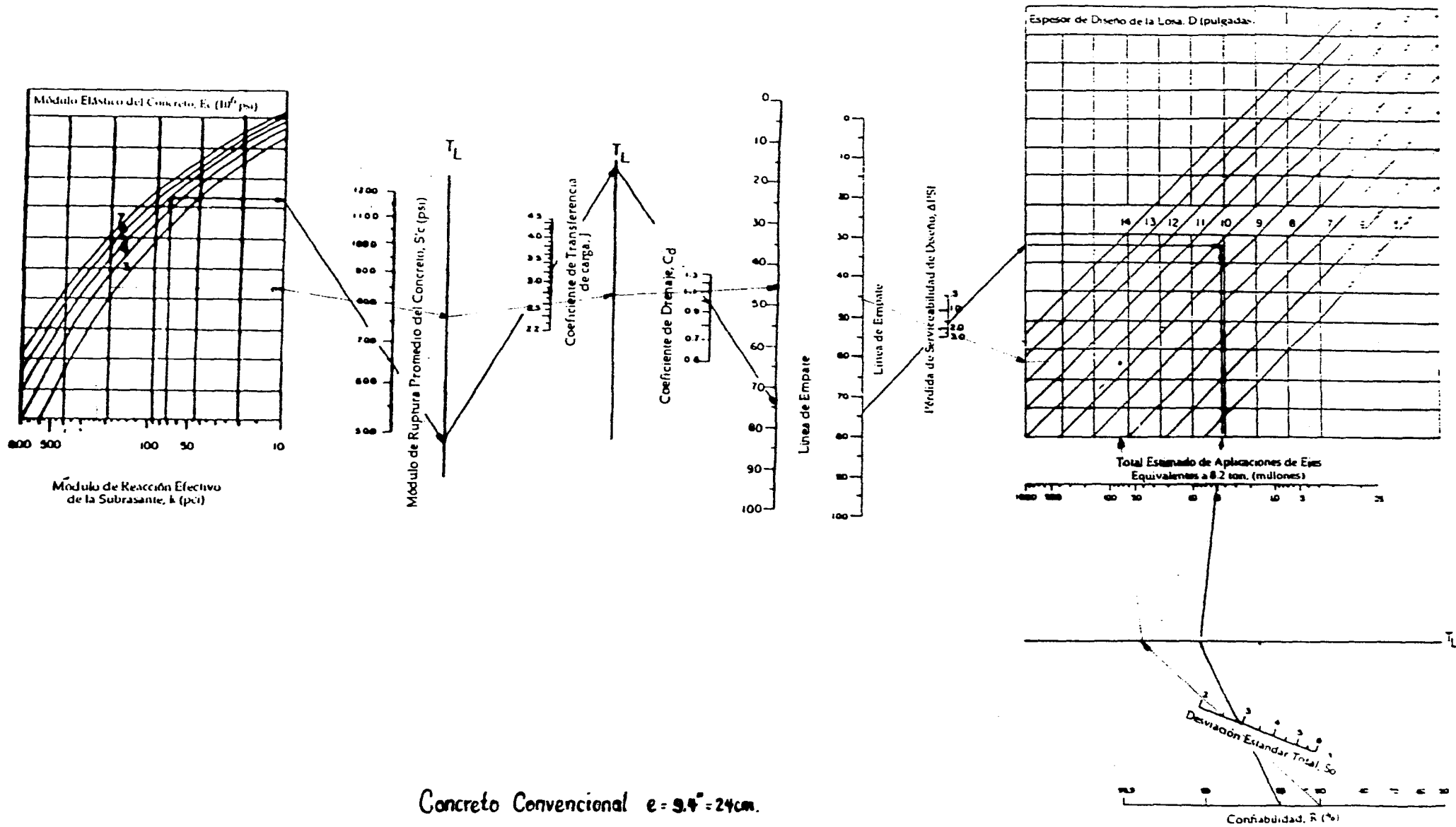


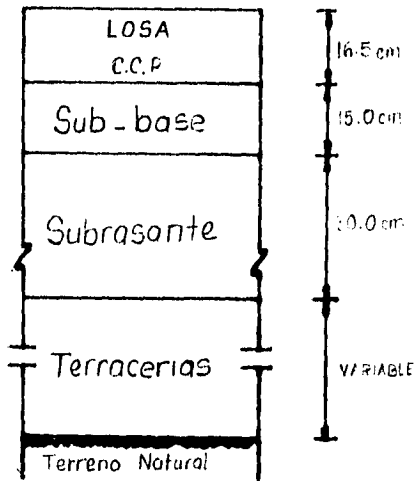
Fig. 5.3.6a y 5.3.6b Gráfica de diseño para pavimento compactado con rodillos basada en el uso de valores para las variables de entrada. (parte 1 y 2)



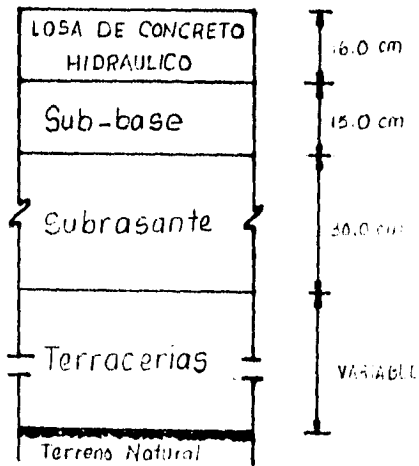
Concreto Convencional $e = 9.4'' = 24\text{cm}$.

Fig. 5.3.6a y 5.3.6b Gráfica de diseño para pavimento de concreto hidráulico convencional basada en el uso de valores para las variables de entrada.

ESPEORES DE PAVIMENTO OBTENIDOS POR EL METODO PCA.

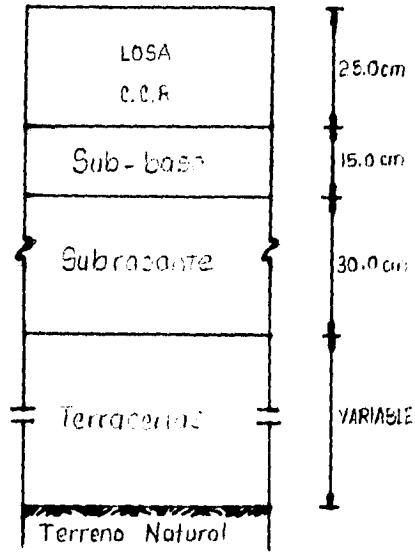


PAVIMENTO CCR

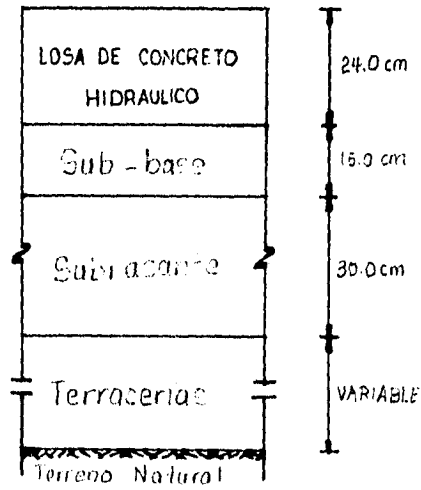


PAVIMENTO CONCRETO HIDRAULICO.

ESPEORES DE PAVIMENTO OBTENDOS POR EL METODO AASHTO.



PAVIMENTO CCR



PAVIMENTO CONCRETO HIDRAULICO.

COMENTARIOS:

Cabe hacer mención que ya se cuenta con programas ejecutables en computadoras personales para realizar el diseño de espesores de Pavimentos; estos programas son: el llamado PCAPAV de la PCA y el DNP586 de la AASHTO; todos estos programas están basados en sus métodos respectivos.

PCAPAV.

Este programa permite diseñar pavimentos de concreto con o sin refuerzo. Los criterios de diseño se basan en la fatiga y la erosión y para su utilización se requiere conocer la siguiente información:

- Módulo de reacción de la subrasante (k)
- Módulo de ruptura del concreto
- Tráfico promedio diario anual
- Vida de diseño (años)
- Tipo de junta (pasajunta o trabazón de agregados)
- Acotamientos
- Factor de seguridad
- Espesor estimado de pavimento
- Categoría de carga por ejes

El programa imprime si así lo desea también el análisis por fatiga y erosión. sus limitantes son: diseña espesores de 10 a 35 cm, los valores de k (módulo de reacción deben estar entre 1.4-19.3 kg/cm³).

EL DNPSOS

Este programa además de obtener espesores del pavimento ofrece un análisis muy completo de los costos del proyecto. Para ejecución del programa se requiere de los siguientes datos:

- Tipo de Sub-base
- Espesor de sub-base
- Módulo elástico del suelo
- Módulo de reacción modificado (k)
- Espesor de la losa
- Módulo de elasticidad del concreto
- Módulo de ruptura promedio del concreto
- Características estructurales
- Nivel de confianza deseado (%)
- Índice de serviciabilidad (comportamiento)
- Transferencia de carga
- Drenaje
- Pérdida de soporte
- Tráfico de diseño

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

A través del tiempo, el efecto del tránsito se ha dejado notar en el creciente problema de deterioro de las carreteras; al aumentar los pesos y dimensiones de los vehículos.

En las condiciones actuales de la red carretera mexicana resulta atractivo plantear el uso de pavimentos que nos proporcionen características de resistencia y durabilidad ante tránsito pesado y con gran cantidad de repeticiones de carga mayores a 5×10^7 .

Una alternativa para estos casos, sería construir pavimentos con concreto hidráulico convencional; sin embargo se ha encontrado a nivel mundial la existencia de un material que si bien es un concreto hidráulico su elaboración esta supeditada a una serie de características tales como revenimiento cero además de relación agua-cemento por debajo de la utilizada en el convencional que otorga a la mezcla mejores propiedades o cuando menos iguales, además de cuantiosas ventajas no solo económicas sino hasta de avance constructivo respecto a las del concreto hidráulico convencional; este nuevo concepto en tecnología recibe el nombre de concreto compactado con rodillos en lo sucesivo llamado CCR y surge como un reto ante la problemática que embarga a las carreteras actuales y futuras.

Después de resultados obtenidos a nivel mundial sobre el alcance del concreto compactado con rodillos para las vías terrestres; se ha despertado a nivel nacional un interés en las últimas dos décadas sobre esta tecnología de pavimento, interés que se ve reflejado en construcciones de tramos de pruebas, así como calles en caminos y hangares en aeropuertos.

Las investigaciones continúan y datos reportados de laboratorio para los casos concretos que se establecen en este trabajo proporcionan la siguiente información con respecto al comportamiento del CCR.

Respecto a los materiales que conforman las mezclas, como se muestra en el informe de calidad de agregados, cemento y aditivos que se presenta en el capítulo 2; así como las resistencias a compresión, tensión y flexión de mezclas con CCR obtenidas con dichos materiales; presentados en el capítulo 4; en este trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

Para este caso de los cuatro tipos de agregados con que se realizaron mezclas de CCR; las mezclas que proporcionaron resultados de resistencia a compresión, tensión y flexión a los 28 días iguales o superiores a las de proyecto fueron: las elaboradas con los materiales NO.1 (agregados de río) y NO.4 (andesitas). Los materiales NO.2 (calizas) y NO.3 (tezóntles) registraron resistencias por debajo de las de proyecto; el material NO.2 en un orden del 88%; mientras que el material NO.3 en un orden del 38%.

Cabe señalar que el material NO.1 (agregado de río) a pesar de que su tamaño máximo es de 1" nos proporcionó datos de resistencia a compresión a los 28 días del orden del 104% de la resistencia a compresión de proyecto, esto se puede atribuir a las siguientes características: la calidad de este material es excelente y superior a la de los otros tres agregados utilizados para elaboración de mezclas de CCR, la granulometría es bien graduada, con un 48.7% de agregado fino y un 51.3% de agregado grueso; el porcentaje de finos que pasa la malla NO. 200 es de 8.3% . Es seguro que con un tamaño máximo de agregado menor de 3/4" se obtendría una mezcla más acomodada y densa que podría reportar resultados de resistencia a compresión, tensión y flexión mayores.

Por otra parte en el material NO.4 (andesitas) la resistencia a compresión a los 28 días nos proporcionó el 108% de la resistencia a compresión del proyecto; este material cuya calidad es inferior a la del material NO.1 (agregado de río) y NO.2 (calizas) sin embargo posee otras características que le permite ofrecer resistencias mayores a las otras mezclas fabricadas; estas características son: tiene un tamaño máximo de 3/4" además de que la granulometría se encuentra mejor graduada que la de los otros tres utilizados donde el porcentaje de agregados finos es de un 53.8% mientras que de agregado grueso es de 46.2% esto nos habla de una excelente distribución del material como de una densidad mayor lo anterior mencionado nos puede dar idea de cuanto influye el tamaño máximo y la granulometría del agregado en los resultados finales de los ensayos de resistencia.

En cuanto al material NO.2 (calizas) pese a tener una calidad adecuada para fabricación de concreto presentó una granulometría menos graduada que la de los otros materiales presentando un 40.5% de agregado fino y un 59.5% de agregado grueso; con un porcentaje de finos que pasa la malla NO. 200 de 4.2%, además de que su tamaño máximo es de 1" razones por las cuáles no se presento una distribución adecuada y uniforme en la mezcla obteniendo así una resistencia a la compresion a los 28 días de edad de un 88% respecto a la de proyecto.

El material NO.3 (tezónfle) por ser un material piroclástico o bien un agregado ligero su calidad es inferior a la de todos los demás materiales analizados; y no obstante que su tamaño máximo es de 3/4" menor al de los materiales NO.1 y NO.2 (agregados de río) y (calizas) así como que su granulometría se encuentra dentro del rango especificado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos teniendo un 40.8% de agregado fino y un 59.2% de agregado grueso; los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia fueron bastante bajos, no alcanzando mas que un 38% de la resistencia de proyecto.

Podemos concluir para este caso en particular que los materiales como agregados de río, andesitas y calizas utilizados en la elaboración de mezclas de CCR con proporcionamientos de cemento que van desde 340 Kg/m³ de concreto pueden proporcionar concreto con resistencias a compresión, tensión y flexión tan elevadas como las que proporciona un concreto convencional de alta resistencia; por lo cuál con el concreto compactado con rodillos se producen mezclas bastante económicas.

En lo que concierne a resultados obtenidos de mezclas entre el concreto compactado con rodillos y el concreto convencional se concluye lo siguiente:

-Aún para consumos de cemento similares en mezclas, el concreto compactado con rodillos tiene mayor resistencia tanto a compresión, tensión y flexión que el concreto convencional.

-Para una resistencia determinada el concreto compactado con rodillos en comparación con el concreto hidráulico convencional tiene un consumo menor de cemento; además la relación grava-arena.

- Las resistencias de el CCR en comparación con las del concreto convencional varían en porcentaje del orden siguiente: a compresión un 6.5% mayores, a tensión un 16% mayores y a flexión un 6.5% mayores aún cuando la relación de cantidad de cemento entre concreto convencional y CCR es de 1.205% esto significa que las mezclas de concreto convencional tienen un 20.5% más de cemento que las de CCR.

Estudios realizados han encontrado una relación de precios entre el concreto compactado con rodillos CCR y concreto convencional del orden tal que el costo de CCR ya colocado es igual al costo de el concreto convencional sin colocar esto se debe al ahorro en la cantidad de cemento que proporciona un material con respecto al otro.

En cuanto a los métodos de diseño de espesores de pavimento analizados en este trabajo tenemos que el método propuesto por la PCA (1986) los espesores obtenidos para concreto convencional y para CCR son iguales de 18 y 18.5 cm respectivamente; mientras que de acuerdo al método AASHTO publicado en 1986 los espesores obtenidos son: para concreto convencional 24cm y para CCR 25 cm; por tanto este método es más conservador dado que además de que tiene la libertad de seleccionar la alternativa de transmisión de esfuerzos con barras lisas, (en CCR solamente se aserra la parte superficial del espesor del pavimento y se deja a la naturaleza que por diferencia de temperatura se forme una grieta con dientes de sierra en la parte inferior que hace la función de articulación y transmisión de esfuerzos); se basa en un análisis multicapa donde se analizan los módulos de elasticidad de todas las capas que subyacen a la losa de concreto.

Existen diversas herramientas analíticas disponibles para el diseño de pavimentos, entre las que destacan las tablas y nomogramas de diseño, así como el apoyo de programas de computadora que agilizan el proceso de diseño, dando una mayor confiabilidad a los resultados obtenidos.

En cuanto a construcción se refiere; la selección de buenos bancos de materiales y la consistente provisión de agregados de buena calidad son esenciales, al igual que la preparación de la capa subyacente sobre la que se apoyará la losa independientemente de que se trate de construcción nueva o de rehabilitación.

El control de calidad de los materiales debe orientarse a asegurar la durabilidad del concreto ante la acción de procesos derivados de las condiciones ambientales y de las cargas que actúan sobre él: es decir se debe verificar que cumpla con las Normas mínimas de calidad y resistencia que se indican en el capítulo 2 de este trabajo.

Se sugiere el uso de pavimentos con concreto compactado con rodillos porque para una misma cantidad de cemento la resistencia es mayor y por lo tanto su costo es menor. Además de la rapidez de avance en la construcción dado que se tiene equipo especializado para su construcción y a las 24 hrs. de su curado alcanza más del 80% de su resistencia a diferencia del concreto convencional.

Se propone la elaboración de una normatividad (Normas, Especificaciones y Reglamentos) para el concreto compactado con rodillos que fije los límites de los materiales, propiedades mecánicas que deben cumplir y procedimientos constructivos a los que deben estar sujetos.

Es preciso que la información técnica de CCR existente hasta la edición del presente trabajo a nivel mundial sea adaptada al contexto nacional, por lo cual se sugiere continuar con investigaciones teórico-práctica hasta lograr normatizar el empleo de concreto compactado con rodillos sin necesidad de basar su comportamiento al del concreto convencional.

Esta tecnología relativamente joven ofrece a las vías terrestres la construcción de pavimentos cómodos seguros y económicos; si no, solo se toman en cuenta los costos de construcción inicial sino también los de operación, mantenimiento y su valor de rescate.

El esfuerzo generalizado para conocer, adaptar y mejorar la tecnología nacional de los pavimentos de concreto compactado con rodillos debe complementarse con un esfuerzo sistemático de capacitación, difusión y documentación.

Independientemente de la problemática técnico-económica que plantea el uso de pavimentos de concreto compactado con rodillos en nuestro país, las decisiones que influyen en su adopción o rechazo son de naturaleza política, por lo que los ingenieros interesados en su promoción y uso tienen que ser capaces de comunicar al público y a los que toman decisiones al respecto; las ventajas que pueden lograrse al construir pavimentos con esta técnica.

BIBLIOGRAFIA:

- 1.- Figueroa G. Donato. "PAVIMENTOS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)". Construcción y Tecnología. IMCYC. vol.1, NO. 5, octubre 1988.**
- 2.- Nieto, R. José. "LA TECNOLOGIA DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)". Construcción y tecnología. IMCYC. vol.1, NO.5, octubre de 1988.**
- 3.- Londoño Naranjo, C. "EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO: UN NUEVO MATERIAL PARA PAVIMENTOS". Boletín del ICPC, NO.42, julio-septiembre 1988.**
- 4.- Keifer, Oswin. "PAVIMENTOS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS". Revista IMCYC, vol 24, NO.189, febrero 1987.**
- 5.- Gómez Domínguez, J. "CONSTRUCCION DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN CON CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS". Construcción y Tecnología. IMCYC. vol.1, NO.5, octubre 1988.**
- 6.- Figueroa Gallo, D. "EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS (CCR) Y SU CONTROL DE CALIDAD". Memoria. Reunión Nacional de Laboratorios de Materiales de Construcción. San Luis Potosi, 1987.**

- 7.- Figueroa Gallo, D. "EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS (CCR) Y SU CONTROL DE CALIDAD". *Revista Mexicana de la Construcción*, N0.398, enero 1988.
- 8.- Salazar C. "PAVIMENTOS DE CONCRETO SECO COMPACTADO CON RODILLO". *Memorias Técnicas. Reunión del Concreto. Colombia 1988.*
- 9.- Londoño Naranjo, C. "CONCRETO SECO COMPACTADO CON RODILLO". *Memorias Técnicas. Reunión del Concreto. Colombia 1988.*
- 10.- Jofre, Carlos. *UTILIZACION DE LOS HORMIGONES COMPACTADOS EN CARRETERAS". Experiencia Española sobre pavimentación con cemento. ICPC. 1989.*
- 11.- "PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARTICULARES. HORMIGON COMPACTADO". *Experiencia Española sobre pavimentación con cemento. ICPC. 1989.*
- 12.- Galizzi. J. "HORMIGON COMPACTADO CON RODILLO ESTUDIO Y APLICACION EN CARRETERAS. INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO", 1986.
- 13.- Escamilla F, Isaac. "ASFALTO O CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS". *Construcción y Tecnología . vol.2, N0.17, octubre 1989.*

- 14.- **Figuroa Gallo, D. "CARRETERAS DE CCR LA MEJOR SOLUCION".**
Construcción y ecología. vol.2, NO.17 octubre 1989.
- 15.- **Jofré, C "PAVIMENTOS DE HORMIGON COMPACTADO CON RODILLO PARA**
CARRETERAS PRINCIPALES DE ESPAÑA". Rutas, NO.15, 1989.
- 16.- **Keifer, O. "CORPS OF ENGINEERS EXPERIENCE WITH RCC PAVEMENTS".**
Roller Compacted Concrete II. Proceedings of the Conference, ASCE, 1988.
- 17.- **Pittman, D. "RCC PAVEMENT CONSTRUCTION AND QUALITY CONTROL".**
Roller Compacted Concrete II. Proceedings of the Conference, ASCE, 1988.
- 18.- **Gómez Domínguez. "ROLLER COMPACTED CONCRETE FOR HIGHWAY**
APPLICATIONS". Purdue University, 1988.
- 19.- **Figuroa, D. "EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS EN LAS VIAS**
TERRESTRES". Segundo Simposio Nacional sobre Materiales de Construcción,
Mérida, 1991.
- 20.- **Rico, Alfonso; Del Castillo, Hermilo. "LA INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS**
TERRESTRES. CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPISTAS". Vol.2 . .
1984

- 21.- Corro C., Santiago y Prado O., Guillermo. "ESTUDIO DEL CCR PARA SU APLICACION EN CARRETERAS". noviembre 1991.
- 22.- Packard, Robert. "THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE HIGHWAY AND STREET PAVEMENTS". PCA.1984.
- 23.- "ROLLER COMPACTED MASS CONCRETE" ACI 207.5R-89.
- 24.- "STANDARD PRACTICE FOR SELECTING PROPORTIONS FOR NO-SLUMP CONCRETE" (ACI 211.3-75) Revised 1987.
- 25.- García Chable, Luis Alonso. "CORRECCION DE EGREGADOS PETREOS PARA CONCRETO HIDRAULICO POR CONTAMINACION DE ARENA EN LA GRAVA Y VICEVERSA". Campeche, diciembre 1987.
- 26.- "PRACTICA PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL, CONCRETO PESADO Y CONCRETO MASIVO". (ACI 211.1-81) REVISADO EN 1984. IMCYC.
- 27.- "PLANEACION DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO CON JUNTAS". Curso de capacitación patrocinado por S.C.T.; IMCYC; CEMEX; México, febrero 1994.

- 28.- **"AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES"** American Asociaton of state highway and transportation officials. Washington, D.C. 1986.
- 29.- **"INSTRUCTIVO PARA CONCRETO"**. Dirección de proyectos departamento de ingeniería experimental. Secretaría de recursos hidráulicos. México 1967.
- 30.- **"ESPECIFICACIONES PARA BASES Y PAVIMENTOS DE CONCRETO"**. (ACI 617-58). Informe del comite ACI 617. IMCYC.
- 31.- **"INSTRUCTIVO PARA EFECTUAR PRUEBAS DE AGREGADOS Y CONCRETO HIDRAULICO"**. Apoyo Didáctico. vol.3 SAHOP. y SOP. 1981.
- 32.- **"NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACION CARRETERAS Y AEROPISTAS"**. Pavimentos. Libro 3. 01. 03. SCT. 1986.
- 33.- **"NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES CARRETERAS Y AEROPISTAS"**. Materiales para carreteras y aeropistas. Libro 4.01.02. SCT. 1986.
- 34.- **"NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES Y SISTEMAS CARRETERAS AEROPISTAS"**. Pavimentos (1). Libro 6.01.02. SCT. 1985.
- 35.- **"NORMAS DE CONSTRUCCION, EQUIPOS Y PRUEBAS DE LABORATORIO"**. PARTE 9 LIBRO II. SCT. 1982.