



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLAN**

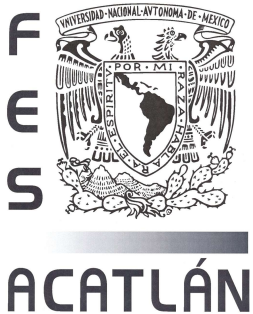
**PROCESO CONSTRUCTIVO DE
AUTOPISTAS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

TESIS Y EXAMEN PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL**

**PRESENTA:
JORGE ENRIQUE ORTIZ DEL ALIZAL**

ASESOR: ING. MANUEL GOMEZ GUTIERREZ





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.

ÍNDICE

OBJETIVO GENERAL.- DESCRIBIR EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE CARRETERAS DE CONCRETO HIDRÁULICO, DESTACANDO LAS ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN VIGENTES Y SU APLICACIÓN DIRECTA EN DOS PROYECTOS DE RECIENTE EJECUCIÓN.

CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES.

OBJETIVO ESPECÍFICO.- CONOCER EN FORMA GENERAL LOS DIFERENTES ASPECTOS DEL SISTEMA CARRETERO NACIONAL E INTERNACIONAL.

- 1.1.- HISTORIA
- 1.2.- SISTEMA CARRETERO NACIONAL
- 1.3.- COMPARATIVA ENTRE CONCRETO ASFÁLTICO Y CONCRETO HIDRAULICO EN CARRETERAS
- 1.4.- DISEÑO

CAPÍTULO II.- FABRICACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO.

OBJETIVO ESPECÍFICO.- DESCRIBIR LOS FACTORES IMPORTANTES QUE INTERVIENEN EN LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN PLANTA DE MEZCLADO CENTRAL.

- 2.1.-ESPECIFICACIONES
 - 2.1.1- MATERIALES
 - 2.1.2.- RESISTENCIA
- 2.2 - DISEÑO DE MEZCLA
- 2.3.- EQUIPO
 - 2.3.1.-TIPOS DE PLANTAS
- 2.4- UBICACIÓN
 - 2.4.1.- LOGÍSTICA
 - 2.4.1.1.- SUMINISTRO DE MATERIALES A PLANTA
 - 2.4.1.2.- TIEMPO DE TRASLADO
 - 2.4.1.3 - COORDINACIÓN DIRECTA PLANTA-TRAMO
- 2.5.- PRODUCCIÓN
 - 2.5.1.-RENDIMIENTO

CAPÍTULO III.- TRANSPORTE Y COLOCACIÓN.

OBJETIVO ESPECÍFICO.-MENCIONAR EL TIPO DE TRANSPORTE Y EL EQUIPO DE TENDIDO PARA LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN TRAMO

- 3.1.- EQUIPO
 - 3.1.1. -TRANSPORTE
 - 3.1.2. - COLOCACIÓN O TENDIDO
- 3.2 - FACTORES DE IMPORTANCIA
 - 3.2.1. - TEMPERATURAS
 - 3.2.2. - CONSISTENCIA DE LA MEZCLA
 - 3.2.3. - COMPACTACIÓN
- 3.3.- JUNTAS
 - 3.3.1. - CONSTRUCTIVAS
 - 3.3.2. - POR TEMPERATURA

CAPÍTULO IV.- TEXTURIZADO, CURADO Y CORTE.

OBJETIVO ESPECÍFICO.- DESCRIBIR EL EQUIPO COMPLEMENTARIO QUE SE UTILIZA EN LA SIGUIENTE FASE DE TENDIDO DE CARPETA.

- 4.1.- EQUIPO
 - 4.1.1-DE TEXTURIZADO
 - 4.1.2-DE CURADO
 - 4.1.3-DE CORTE
- 4.2. - ESPECIFICACIONES
- 4.3. - TEXTURIZADO
 - 4.3.1.- CARACTERÍSTICAS
- 4.4 - CURADO
 - 4.4.1. -MATERIAL
 - 4.4.2. -TIEMPOS
- 4.5.- CORTE
 - 4.5.1.- CARACTERÍSTICAS

CAPÍTULO V.- CASOS ACTUALES.

OBJETIVO ESPECÍFICO.- MENCIONAR LAS DIFERENTES EXPERIENCIAS QUE SE OBTUVIERON EN DOS PROYECTOS CARRETEROS.

- 5.1. -TRAMO PIRÁMIDES-TULANCINGO
 - 5.1.1.- GENERALIDADES.
- 5.2. -TRAMO PALMÍLLAS-QUERÉTARO
 - 5.2.1.-GENERALIDADES

CONCLUSIONES

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

OBJETIVO ESPECÍFICO: CONOCER EN FORMA GENERAL LOS DIFERENTES ASPECTOS DEL SISTEMA CARRETERO NACIONAL E INTERNACIONAL.

1.1.-HISTORIA.

México es un importante creador de estructuras tridimensionales, por lo tanto es uno de los países que más ha mejorado en este rubro, ya que el uso de concreto hidráulico en la pavimentación de carreteras en la República Mexicana es una de las áreas con mayor potencial de crecimiento dentro de la industria del concreto. Sin embargo, en torno a este punto, en abril de 2009 (según informó en su momento Notimex), la Canacem (Cámara Nacional del Cemento), anunciaba que al menos el 88% de la red carretera de nuestro país, era de asfalto debido a la falta de previsión a largo plazo. Así mismo, en un estudio realizado por dicha Cámara dio como resultado que casi el 60% de los tramos carreteros del país tienen más de 40 años de haber sido construidos, lo que implica que tanto los diseños como los materiales utilizados en la actualidad resultan obsoletos para el tránsito vehicular. Aunado a esto, la capacidad de soporte de los pavimentos para carga pesada ha tenido un incremento del 50% respecto a lo previsto cuarenta años atrás.

La aplicación y uso de la mecánica de suelos en todo el mundo, genera una dinámica importante al incorporar las nuevas tecnologías para aprovechar técnicas y materiales que nos permiten mejorar la calidad y la vida útil de las obras.

Este es el caso específico de la creciente utilización de pavimentos de concreto hidráulico para obras que, por sus especificaciones, así lo requieren.

De hecho en México, durante la década de 1990 hacia finales del año 2000 se construyeron más de mil kilómetros de carreteras con concreto hidráulico, convirtiéndose así en el país de América Latina que más aprovecha el concreto hidráulico para sus carreteras, escuelas y hospitales, construyendo caminos, puentes, presas y obras de riego.

Ejemplo de ello fué la construcción del Libramiento Ticumán, con una longitud de poco más de 15 km. Construido en 1992, ésta obra es la primera ejecutada en México con equipo de encofrados deslizantes. La carretera consta de una sobrecapa de concreto hidráulico de aproximadamente 20 cm de espesor que fué aplicada sobre el pavimento de asfalto existente con el propósito de rehabilitarlo para proporcionar un tránsito seguro y eficiente a una vía que tiene un alto flujo de vehículos pesados. Otros ejemplos son el tramo Tihuatlán-Poza Rica; la autopista Cárdenas-Agua Dulce en Tabasco, con una longitud de 84 km; la autopista Guadalajara-Tepic, con 34 km de longitud; la rehabilitación del camino Yautepec-Jojutla, en el estado de Morelos, con una longitud de 32 km; la construcción del cuerpo nuevo de 38 km de la autopista Querétaro-San Luis Potosí; el tramo El Huizachal e Ixtapa-Aeropuerto, así como la autopista Tulum-Punta Nizuc.

La longitud total de carreteras construidas o en proceso entre 1993 y 1997 estaba distribuida de la siguiente manera: de concreto simple, 110 km-carril de refuerzo y 64 km-carril de pavimento nuevo. De concreto con pasajuntas, 752 km-carril de pavimento reforzado y 1,272 km-carril de pavimento nuevo.

En esta labor, la Ingeniería Civil siempre ha mantenido un compromiso muy firme con México, mismo que se refrenda en lo social, al construir obras que combaten la pobreza y la desigualdad; generan empleos e impulsan la competitividad de nuestras industrias, por ello, el entorno tan competitivo y dinámico que enfrentamos, demanda creatividad para superar los rezagos que aún tenemos.

Para lograr esto, es necesario contar con empresas de construcción más fuertes y modernas que estén mejor preparadas y con una nueva visión que haga frente a los retos que plantea un entorno y una población que demanda más infraestructura y mejores servicios, dichas empresas deberán elaborar proyectos integrales mejor dimensionados, con un enfoque global, tomando en cuenta las demandas de los usuarios y el entorno en el que se construyen.

Desde 1996, diversas empresas fabricantes de cemento y concreto premezclado a lo largo de todo el país, han participado muy activamente en la construcción vial, para lo cual se apoyan en alianzas estratégicas con empresas contratistas. Para dar un ejemplo de ello, citaré a la compañía Holcim Apasco, S.A. de C.V. que en el año 1998 había suministrado más de 500,000 m³ de concreto, 380,000 toneladas de cemento, 750,000 toneladas de agregados y 1,000,000 de litros de aditivos para este segmento del mercado.

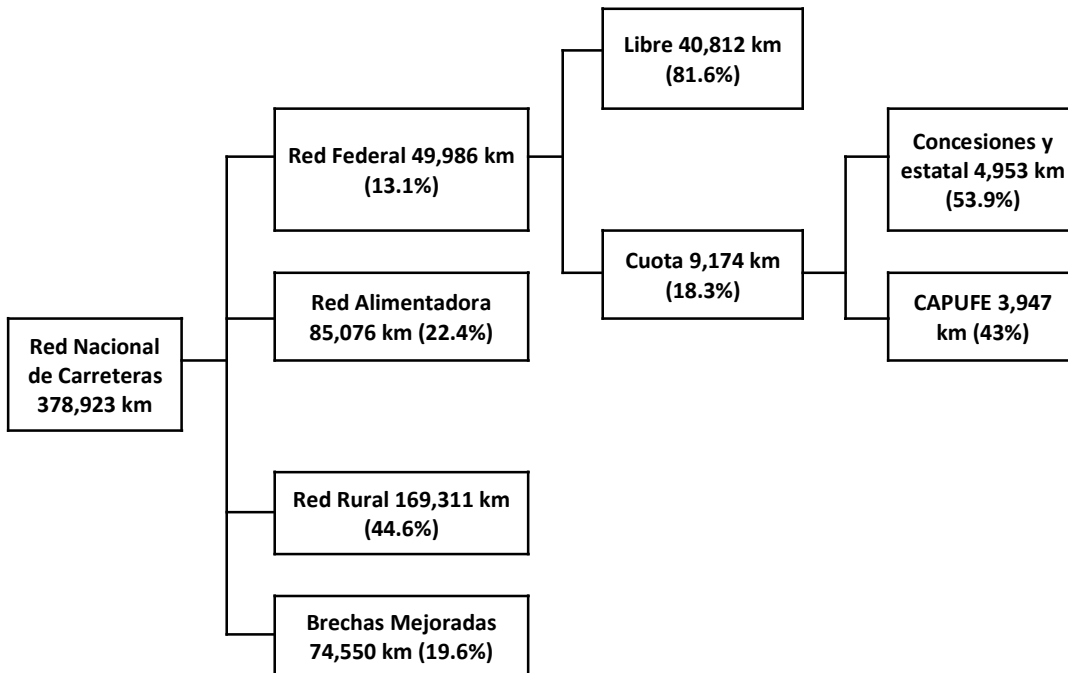
Es necesario aprovechar las tecnologías de otros países y también nuestras propias modalidades y técnicas que hasta el momento han cumplido con los requerimientos que demanda nuestro sistema carretero nacional e internacional.

1.2. - SISTEMA CARRETERO NACIONAL.

La infraestructura carretera moviliza la mayor parte de la carga (55% del total) y de las personas (98% del total) que transitan el país. Para atender esta demanda, la red carretera cuenta con 378,923 km de longitud, dividida entre red federal (49,986 km), carreteras estatales (85,076 km), la red rural (169,311 km) y brechas mejoradas (74,550 km).

A pesar de que la red carretera federal logra conectar gran parte de los nodos estratégicos del país, algunos tramos ya presentan problemas de saturación, sobre todo los que conectan las principales ciudades del centro del país. Además, existen problemas de conexión a nivel local, como lo son accesos a puertos, cruces internacionales y entradas a las ciudades.

Del total de la red carretera actual, destacan 15 corredores carreteros, entre los dos océanos y las fronteras norte y sur del país. Estos corredores presentan en conjunto un 68.6% de avance en su grado de modernización a altas especificaciones lo que contribuye a que la gran mayoría de la red registre niveles de servicio adecuado. Sin embargo, existe el riesgo de que estos niveles se deterioren una vez que los flujos de carga se incrementen y las regiones del país se desarrollen.



Diag. 1.- Clasificación de la Infraestructura Carretera.

La mayor longitud de carreteras y caminos por entidad federativa, corresponde en orden decreciente a: Veracruz, Oaxaca, Chihuahua, Chiapas, Jalisco, Guerrero, Estado de México, Michoacán, Guanajuato y Sonora.

Pero las entidades federativas con mayor incremento respecto a la Red Nacional de Carreteras respecto a 2015 son Chihuahua, Estado de México, Michoacán, Zacatecas, Sonora, Guerrero y Baja California.

El 21% de la longitud de la red federal soporta tránsitos diarios de más de 5,000 vehículos y 29% tiene problemas de capacidad para atender sus tránsitos en condiciones óptimas de seguridad y economía, ya que durante los últimos 10 años la carga transportada por carretera en México se ha incrementado en 32.5% y los pesos autorizados de los vehículos han crecido de manera importante. Los pasajeros transportados por carretera se han incrementado en 77%.

Sin embargo, durante los últimos años, a pesar de las grandes inversiones destinadas a la reconstrucción, modernización y ampliación han sido insuficientes, por lo cual esta infraestructura ha experimentado un progresivo deterioro.



Fig. 1.- Tramo de Autopista de Concreto Hidráulico.



Fig. 2.- Construcción de Autopista de Concreto Hidráulico.

1.3. - COMPARATIVA ENTRE CONCRETO ASFÁLTICO Y CONCRETO HIDRÁULICO EN CARRETERAS.

Los pavimentos de concreto presentan una serie de características que aventajan por mucho a los que incluyen asfalto en su conformación. De las muchas cualidades que tiene la construcción de carreteras con concreto hidráulico destacan:

- **Costos Totales Inferiores:** Para un mismo período de diseño, cuando se suman todos los costos, generalmente el pavimento rígido resulta más barato. Esto se debe principalmente a los costos de mantenimiento que para el caso de pavimento de concreto son mucho menores y casi nulos (en ocasiones sólo se requiere subsanar detalles de sellado de juntas a intervalos de 5 a 10 años). Además por otra parte, el pavimento de concreto tiene una vida útil más larga que el pavimento asfáltico.
- **Costo de Operación de la Carretera:** Los pavimentos de concreto hidráulico al tener una superficie plana alargan la vida de los vehículos evitando que se dañen y minimizando su mantenimiento. El costo de consumo de combustible se reduce hasta en un 20% para vehículos pesados.
- **Facilidad de Construcción:** Se ha llegado a bajar los costos a la construcción de pavimentos de concreto hidráulico con la instalación de plantas de concreto premezclado de alto rendimiento (mezclador central) y maquinaria altamente especializada.
- **Durabilidad:** Las superficies de concreto hidráulico duran más. Estadísticamente se ha demostrado que las carreteras de concreto hidráulico han soportado hasta tres veces su capacidad de carga de diseño y en pavimentos de aeropuertos, el doble. El concreto gana resistencia con el tiempo, el asfalto no.
- **Resistencia:** El concreto en estado endurecido resiste sin sufrir deterioros los derrames de gasolina y diesel, así mismo, los efectos de la intemperie. Los pavimentos de concreto hidráulico resisten mejor las cargas transmitidas por los vehículos pesados. Por otra parte, al paso del tiempo, el asfalto al perder algunas emulsiones de petróleo, cambia su color de negro a gris y se vuelve frágil.
- **Resistencia a altas temperaturas:** El concreto hidráulico no es afectado por el calor, no se vuelve pegajoso, ni se volatilizan algunos de sus ingredientes (no es contaminante). En zonas calurosas, (especialmente en áreas urbanas) se mantiene fresco, reduciendo la temperatura del entorno.
- **Indeformabilidad:** En las zonas de frenado y arranque de vehículos pesados, el concreto no se deforma.
- **Drenaje:** Al no deformarse ni encharcarse las superficies de concreto proporcionan un buen drenaje superficial para el agua de lluvia.
- **Seguridad:** El fenómeno del acuaplaneo de vehículos (deslizamiento en superficies mojadas), tiene menores posibilidades de que se produzca en superficies de concreto.

- **Estética y seguridad peatonal:** Para dirigir el tráfico peatonal y vehicular por rutas más seguras, el estampado o texturizado en el concreto permite marcas duraderas.
- **Economía en capa base:** No se requieren trabajos de excavación y construcción de capas base y sub-base para construir las losas de concreto, generalmente para apoyar la superficie de concreto se puede utilizar la superficie existente debidamente conformada o una capa base con material drenante. El pavimento flexible debe construirse en capas y cada capa (carpeta, base y sub-base), a su vez debe construirse también en capas debido a restricciones de espesores para lograr las compactaciones especificadas.
- **Economía en iluminación:** La superficie de concreto es tres veces más reflejante que la de asfalto. Se ahorra energía y se brinda mayor seguridad durante la noche, debido a que los faros de los vehículos iluminan perfectamente al concreto.
- **Rapidez de puesta en obra:** Con el concreto se pueden alcanzar altas resistencias en cuestión de horas. La resistencia del concreto se puede predecir y controlar con mayor facilidad.
- **Limpieza:** La superficie de concreto es muy plana y fácil de limpiar.
- **Ahorro de energía:** No se requiere someter a calentamiento ninguno de los componentes para elaborar el concreto hidráulico (se ahorra energía). En la elaboración del concreto asfáltico los agregados y el asfalto deben calentarse a temperaturas elevadas. Aún después de elaborado, se deben mantener temperaturas más o menos elevadas dependiendo del tiempo de transporte y colocación, e incluso una temperatura mínima a la cual se debe compactar.
- **Contaminación:** La mezcla asfáltica siempre contamina al ser colocada, no importando si se trata de mezclas en caliente o en frío e independientemente de una carpeta o de un bacheo rutinario. El concreto **no contamina** durante su colocación.
- **Facilidad de reparaciones:** En el concreto, bajo cualquier condición climática, se pueden emplear una variedad de aditivos que permiten efectuar todo tipo de trabajo o reparaciones con gran rapidez y eficiencia. El asfalto no se puede reparar abajo de ciertas temperaturas mínimas.
- **Textura:** La superficie del pavimento de concreto hidráulico se puede hacer tan segura (antiderrapante) como se quiera, gracias a las diversas técnicas disponibles para darle textura, ya sea durante la construcción o una vez que el pavimento ha estado en servicio y requiera de una mayor resistencia al deslizamiento.

Los grandes proyectos nacionales de carreteras se han diseñado para que sean construidos con concreto hidráulico (concreto) y no con concreto asfáltico (asfalto). Tal es el caso de las autopistas Bernardo Soto, General Cañas, San José-Caldera, Pirámides-Tulancingo y Palmillas-Querétaro, entre otras.

De acuerdo con Cementos del Pacífico (CEMPA), el país reúne las principales características para hacer carreteras de concreto.

Uno de los principales agentes de deterioro de las carreteras de asfalto es la lluvia, por lo que construir con concreto es muy apropiado ya que se adapta mejor a este tipo de condiciones.

Sin embargo, su principal desventaja es el costo inicial, pues de acuerdo con los cálculos, estos se incrementan entre un 20% a 30% y necesitan un buen sistema de drenaje para que evitar fallas en las estructuras o en las losas de pavimento.

Tanto las carreteras de concreto hidráulico tienen una vida útil de 20 a 25 años y las de asfalto tienen una vida útil de diseño de 10 a 15 años, pero en las de asfalto se minimiza su vida útil porque se necesitan labores constantes de mantenimiento, como bacheo, sustitución de superficie de rodamiento y otras. Es por ello que un reto de las vías de comunicación es que no logran excentar es el sobrepeso de camiones

Por otro lado, las carreteras de asfalto incrementan sus costos por las obras de mantenimiento y reparación, por la fluctuación en los precios del petróleo, así como las deformaciones que sufren por las condiciones climáticas y el tiempo.

El concreto tiene un costo inicial alto y el asfalto es más barato, lo que se tiene que valorar es calidad y costos, siendo así la mejor opción utilizar concreto en la construcción de carreteras por los beneficios que se obtienen a largo plazo.

CVE	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
-----	-------------	--------	----------	-----------------	-------

ANALISIS EN CONCRETO ASFALTICO

1	SUB BASE, EN 20 CM DE ESPESOR	M2	1	\$ 90.00	\$ 90.00
2	BASE HIDRAULICA, EN 20 CM DE ESPESOR	M2	1	\$ 100.00	\$ 100.00
3	RIEGO DE IMPREGNACION, CON EMULSION ECI-60 A RAZON DE 1.50 LT/M2	M2	1	\$ 18.00	\$ 18.00
4	RIEGO DE LIGA, CON EMULSION ECR-60 A RAZON DE 0.60 LT/M2	M2	1	\$ 7.20	\$ 7.00
5	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO EN 10 CM DE ESPESOR, CON CEMENTO ASFALTICO AC20	M2	1	\$ 200.00	\$ 200.00

PRECIO POR M2: \$ 415.00**ANALISIS EN CONCRETO HIDRAULICO**

1	SUB BASE, EN 20 CM DE ESPESOR	M2	1	\$ 90.00	\$ 90.00
2	BASE HIDRAULICA, EN 20 CM DE ESPESOR	M2	1	\$ 100.00	\$ 100.00
3	PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO EN 30 CM DE ESPESOR	M2	1	\$ 495.00	\$ 495.00
4	CURADO, JUNTAS DE CONSTRUCCION, JUNTAS DE CONTROL, SELLO DE JUNTAS	M2	1	\$ 49.00	\$ 49.00

PRECIO POR M2: \$ 734.00

- PRECIOS SIN IVA

Tabla 1.- Comparativa de Costos entre Asfalto y Concreto.

1.4.-DISEÑO

Sección Estructural Tipo del Proyecto.

Se tomó como referencia la Autopista Pirámides – Tulancingo (tramo Zempoala – Tulancingo) y la Autopista Palmillas – Queretaro (tramo Los Cues – Queretaro) para mostrar el perfil del diseño estructural del cuerpo de la Autopista y que se detalla a continuación.

Estructura del pavimento rígido para la construcción de los cuerpos nuevos de 10.5 m de corona de la autopista según las secciones tipo No. 1,3,4,5 y 6 anexas, del km19 + 583 al 22 + 706 y del km 26 +290 al km 53 + 000.



Fig. 3.- Sección Transversal del cuerpo de la Autopista Pirámides – Tulancingo.

Es importante analizar primeramente algunos aspectos para la determinación de las estructuras de terracerias como:

- Masa Volumétrica Seca Máxima.

Se determina mediante la prueba AASHTO Estándar de acuerdo al procedimiento indicado ya sea en Laboratorio o en el lugar, para éste último se selecciona el sitio para la determinación de la masa volumétrica seca del material en estado natural o compactado, para el estado compactado se usa el procedimiento conocido como Método de Trompa, esto es que contengan partículas de mayor tamaño que la malla con abertura de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") o incluso fragmentos de roca. En los casos en que haya partículas que por su tamaño tengan que ser devueltas a la cala, es más práctico utilizar este método, ya que ello no implica remover el aparato instalado como ocurriría con el método de cono y arena.

- Equivalente de Arena.

El procedimiento de prueba del Equivalente de Arena de los materiales pétreos en base a la Norma N-CMT-4-04-001, *Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* es importante para determinar el contenido y actividad de los materiales finos o arcillosos presentes en los materiales pétreos empleados en las mezclas asfálticas. La prueba consiste en agitar un cilindro, que contiene una muestra del material pétreo que pasa la malla No. 4, mezclada con una solución que permite separar la arena de la arcilla.

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo.

- Análisis Granulométricos.

Los análisis granulométricos fueron esenciales para los diseños que se tuvieron, estos fueron aplicados en base a la Norma AASHTO T-27. *Método de prueba estándar para el análisis de granulometría de los agregados finos y gruesos* y la Norma AASHTO T-11. *Método de prueba estándar para los materiales más finos que la malla No. 200 de agregados minerales mediante lavado.*

La primera explica como debe ser llevada a cabo la prueba para obtener la granulometría de los agregados, indica los pasos a seguir y de que manera realizarlos además del equipo necesario para la prueba, también describe los límites en porcentaje de la cantidad de material que puede quedar retenido en cada malla. La segunda especifica como se obtiene la cantidad de material de la muestra que pasa por la malla 200, se realiza generalmente por medio de lavado con agua.

- Equivalente de Arena.

De acuerdo a la Norma AASHTO T-176. *Método de prueba estándar para el valor de equivalente de arena de suelos y agregados finos.* El uso de ésta norma es para asignar un valor a la cantidad, finesa y carácter de material arcilloso presente en la muestra.

- Desgaste de Los Angeles.

En base a la Norma AASHTO T-96. *Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación del agregado grueso por abrasión en la máquina de Los Angeles.* Describe la forma en que debe ser realizada la prueba en la máquina de Los Angeles para la resistencia a la abrasión del agregado.

Para dar por terminada la construcción de las losas de concreto hidráulico se verificarán el alineamiento, la sección transversal en su forma, espesor, anchura y acabado de acuerdo con lo fijado en el proyecto y/o lo ordenado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con las siguientes tolerancias:

Pendiente transversal con respecto a la del Proyecto.	+0.5%
Coeficiente de fricción inicial de la superficie de rodamiento.	0.40 mínimo
Índice de Perfil a) En tangentes o curvas $R > 600$ m b) En curvas de $300 \text{ m} < R < 600$ m	11 cm/km 19 cm/km
Profundidades de depresiones.	0.5 cm
En el 80% como mínimo del número total de los espesores determinados	$e_r > e$
En el 20% como máximo del número total de los espesores determinados.	$e_r > e - 0.2 \text{ cm}$
R= Radio de curvatura e_r = Espesor Real e= Espesor de diseño	

Tabla 2.- Especificaciones Geométricas para la Autopista Pirámides – Tulancingo

La profundidad de las depresiones se determinará colocando una regla de 3 metros de longitud. El contratista deberá considerar una regla y operación de la misma por cada frente de tendido.

Verificación de la calidad del concreto

El concreto para la losa fué el especificado y recomendado en el diseño de la estructura, con un Módulo de Ruptura no menor a kg/cm^2 , específicamente fué de 48 kg/cm^2 el producido, con revenimientos controlados de 4.00 cm (no menores a 2.5 cm ni mayores a 6 cm), con temperaturas máximas de $32 \text{ }^\circ\text{C}$.

Para verificar la calidad del concreto que se estuvo suministrando, se elaboraron muestras de cuatro vigas de $15 \times 15 \times 50 \text{ cm}$ para la determinación de la resistencia a la tensión por flexión y cuatro cilindros de $15 \times 30 \text{ cm}$ para la resistencia a la compresión axial, siguiendo el procedimiento establecido en la Norma Mexicana *NMX-C-160-ONNCCE-2004. "Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto"*. Las vigas fueron curadas inmediatamente, después de darle el acabado, con una capa de la membrana que se utilizó para el curado de la losa del pavimento, en cambio los cilindros fueron protegidos con sus respectivas tapas. Estas muestras fueron tomadas en promedio a cada 100 metros de longitud equivalente a 250 m^3 de concreto.

Los especímenes fueron descimbrados al día siguiente de su elaboración teniendo la precaución de efectuarlo de acuerdo con el margen de tiempo indicado de la norma antes mencionada, es decir, entre las 20 y 48 horas.

En la planta de concreto premezclado Apasco – Pachuca, fue construido un laboratorio con las condiciones de temperatura y humedad relativa especificadas en la Norma Mexicana *NMX-C-160-ONNCCE-2004*, donde los especímenes fueron curados hasta la fecha de ensaye.

Los especímenes fueron ensayados en una prensa digital instalada en el mismo laboratorio, siguiendo los procedimientos establecidos en las Normas Mexicanas *NMX-C-191*, para vigas y *NMX-C-83* para cilindros, de la siguiente manera:

<u>No. de Vigas</u>	<u>No. de Cilindros</u>	<u>Edad de Ensaye</u>
1	1	3 días
1	1	7 días
2	2	28 días

Tabla 3.- Frecuencia de ensaye de Especímenes.



Fig. 4.- Obtención del Revenimiento del Concreto Fresco en Obra.



Fig. 5.- Determinación del Revenimiento de acuerdo a especificación.



Fig. 6.- Muestras elaboradas del Concreto en estado fresco

CAPÍTULO II: FABRICACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO

OBJETIVO ESPECIFICO: DESCRIBIR LOS FACTORES IMPORTANTES QUE INTERVIENEN EN LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN PLANTA DE MEZCLADO CENTRAL.

2.1. - ESPECIFICACIONES

Para la elaboración de los productos utilizados durante el proyecto carretero, se firmó un convenio de suministro entre Concretos Apasco, S.A. de C.V. y Cementos Apasco, S.A. de C.V., con la sociedad formada por la empresa mexicana Dinfra subsidiaria de Grupo Mexicano de Desarrollo y la empresa española Cofimex subsidiaria de Grupo FCC.

En dicho convenio se estipuló que Dinfra-Cofimex proporcionará grava, arena y agua en el lugar de ubicación de la planta y con la calidad especificada, siendo obligación de Apasco proporcionar el cemento, los aditivos y la operación de la planta de mezclado central con el personal necesario para su funcionamiento.

Como requisito principal se especificó que el concreto tuviera una resistencia a la tensión por flexión de 48 kg/cm² (Modulo de ruptura = 48 kg/cm², MR-48) y un revenimiento promedio de 4 cm al momento de su colocación pero nunca deberá ser menor de 2.5 ni mayor de 6 cm, comprendiendo los trabajos a realizar sobre la superficie de la sub- base estabilizada con cemento para construir los pavimentos de concreto con cemento Portland en áreas y con la forma, dimensiones, resistencias, procedimientos, calidad, tolerancias y acabados indicados en el proyecto y/u ordenadas por la S.C.T.

Entre las especificaciones particulares que se contemplaron para este proyecto se tiene los siguientes:

➤ **Materiales Pétreos:**

- a).- El manejo y/o almacenamiento de los agregados se hizo de tal manera que se evitaron segregaciones o contaminaciones con sustancias u otros materiales perjudiciales y que se mantuviera una condición de humedad uniforme antes de ser utilizado en la mezcla.
- b).- El agregado grueso fué totalmente grava triturada con un tamaño máximo de 38 mm., para asegurar la resistencia del concreto señalada en el proyecto y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Denominación de la Malla	% Que pasa
2"	100
1½"	95-100
¾"	35-70
⅜"	10-30
Num. 4	0-5

Tabla 4.- Porcentajes Granulométricos de los Agregados.

El contenido de las sustancias perjudiciales en el agregado grueso, deberá tener los porcentajes máximos que se indican en la siguiente tabla:

Sustancias Perjudiciales	% Hp Máximo
Partículas Deleznables	0.25
Partículas Suaves	5.0
Pedernal como Impureza	1.0
Carbón Mineral y/o Lignito	1.0

Tabla 5.- Porcentajes de Partículas Perjudiciales.

El Agregado Grueso además cumplió con los siguientes requisitos de calidad:

Prueba	% Máximo
Desgaste de "Los Angeles"	40 %
Intemperismo Acelerado	12 *

*Utilizando Sulfato de Sodio

Tabla 6.- Pruebas realizadas a Gravas.

c).- El agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de 9.51 mm con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Denominación de la Malla	% Que pasa
⅜"	100
Num. 4	95-100
Num. 8	80-100
Num. 16	50-85
Num. 30	25-60
Num. 50	10-30
Num. 100	2-10
Num. 200	4 máximo

Tabla 7.- Pruebas Granulométricas realizadas a Arenas.

La arena no deberá tener un retenido mayor de 45% entre dos mallas consecutivas; además deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

Prueba	% Requerido
Equivalente de Arena	80% mínimo
Módulo de Finura	2.3% mínimo – 3.10% máximo
Intemperismo Acelerado	10% máximo *

*Utilizando Sulfato de Sodio

Tabla 8.- Pruebas realizadas a Arenas.

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena, no deberá exceder los porcentajes máximos siguientes:

Sustancias Perjudiciales	% Máximo
Partículas Deleznable	1.0
Carbón Mineral y/o Lignito	1.0

Tabla 9.- Pruebas realizadas a Arenas.

➤ **Cemento**

El cemento especificado utilizado en los proyectos fue Cemento Puzolánico del tipo CPP (Cemento Portland Puzolánico) que cumplió respectivamente con los requisitos físicos y químicos que se señalan en las normas de calidad de los materiales de la S.C.T.

➤ **Agua**

El agua que se empleó en la fabricación del concreto fue potable, y por lo tanto estuvo libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc.

Así mismo, no contuvo cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la siguiente tabla, en partes por millón:

Sustancias Perjudiciales	p.p.m. máx.
Sulfatos (convertidos a Na ₂ SO ₄)	1000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1000
Materia Orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad y/o Lignito	1500

Tabla 10.- Pruebas Químicas realizadas al Agua.

➤ **Aditivos**

Se empleó un aditivo del tipo D, Reductor de Agua (RA-200) y Retardante, con la dosificación requerida para que el fraguado inicial de la mezcla a la temperatura estándar de 23° C no se produjera antes de 2 horas ni después de 4 horas a partir de la finalización del mezclado.

Para asegurar la trabajabilidad de la mezcla también se utilizó un agente inclusor de aire (AEA-92).

El concreto hidráulico cumplió con el requisito de resistencia fijada en el proyecto cuando se verificó lo siguiente:

- El promedio del módulo de resistencia a la tensión por flexión de cada 5 especímenes consecutivos fué igual o mayor que la resistencia a la tensión por flexión especificada en el proyecto a los 28 días de edad.
- Así mismo, que en los mismos 5 especímenes a que se refiere el párrafo anterior cuando menos 4 tuvieron una resistencia igual o mayor que el 90% de la resistencia especificada en el proyecto para los mismos 28 días de edad.

➤ **Resistencia**

La resistencia especificada del concreto para la carpeta rígida fue de 48 kg/cm² a la tensión por flexión, como mínimo, a los 28 días de edad, cuya resistencia se verificó en especímenes moldeados, durante el colado, en vigas estándar de 15x15x50 cm, compactando el concreto por medio de vibrocompresión, una vez curados adecuadamente, se ensayaron aplicando las cargas en los tercios medios.

2.1.1.- MATERIALES

Los materiales que se emplearon en la fabricación del concreto son los siguientes, haciendo énfasis en los resultados de los estudios realizados en cada uno de ellos y comparando al mismo tiempo con los valores especificados:

a).- Cemento

El cemento utilizado en la fabricación de concreto hidráulico en toda la obra fue Tipo I, llamado CPO (Cemento Portland Ordinario) suministrado por la Planta Cementera Apaxco, en el Estado de Hidalgo. La recepción del cemento se hizo a través de un Supervisor de Cemento y Aditivos y fue almacenado en 5 silos horizontales fijos de 150 ton de capacidad cada uno, desde donde fue transportado al silo pulmón para la dosificación. En algunos casos el cemento fue descargado directamente de la pipa al silo, particularmente cuando la demanda de concreto era alta.

La calidad del cemento fue responsabilidad de Cementos Apasco, avalada con los respectivos Certificados de Calidad emitidos mensualmente.

b).- Agregado Grueso (grava)

La grava (basalto andesítica) fue proporcionada por Gravasa, S.A. y su almacenamiento de acuerdo con la especificación, se llevó a cabo también bajo la vigilancia de un Supervisor de Agregados y fue por separado para evitar que fuese contaminada.

La grava fue suministrada en dos tamaños diferentes: de 5-20 mm. ($\frac{3}{4}$ ") y de 20-38 mm. ($1\frac{1}{2}$ "). En el transcurso de la producción del concreto se efectuaron los análisis granulométricos correspondientes y se hicieron los ajustes pertinentes buscando siempre combinar los dos tamaños de tal manera que siempre se tuviera una granulometría integral que pasara por el centro de la curva especificada en la Norma Mexicana NMX-C-111.

La granulometría promedio como resultado de combinar los diferentes tamaños de gravas al ser utilizadas fue la siguiente:

Denominación de la Malla	% Que Pasa
2"	100
1 $\frac{1}{2}$ "	96.68
$\frac{3}{4}$ "	53.24
$\frac{3}{8}$ "	17.28
Num. 4	4.4

Tabla 11.- Pruebas Granulométricas en Gravas combinadas.

Los resultados promedio de la prueba de desgaste de "Los Ángeles", así como del intemperismo acelerado, realizado en el Centro Tecnológico del Concreto (CTC) de APASCO, ubicado en la Ciudad de Toluca, Estado de México, fueron los siguientes:

Desgaste de "Los Ángeles"	37%
Intemperismo Acelerado	4%

Tabla 12.- Pruebas realizadas a Gravas para verificar la Calidad.

De acuerdo con estos resultados, la grava utilizada cumplió con las especificaciones de la S.C.T.

Aunque las especificaciones no contemplaron la prueba de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento, por solicitud del cliente fue realizada una prueba en el laboratorio de la Comisión Federal de Electricidad, empleando el método químico y para el caso de la grava resultó ser deletéreo.

Otras de las características de este material fue su alta capacidad de absorción del orden del 6%, por lo que fue necesario instalar un sistema de riego por aspersion con la finalidad de mantener las gravas en el punto de saturación antes de emplearlos en la elaboración del concreto. Sin embargo, la instalación no fue suficiente para saturar todo el material que se empleó en un día de colado y su tuvo que emplear el riego del agregado por medio de pipas de agua un día antes del empleo del material y al final de la producción.

c).- Agregado Fino (Arena)

Se utilizaron dos tipos de arena: arena lavada, clasificada petrográficamente como volcánica riolita y arena andesita. La perdida por lavado promedio de estas arenas fue de 6.72.

Las dos arenas tuvieron un desempeño aceptable en la producción del concreto.

Los resultados promedio de la prueba de equivalente de arena, módulo de finura e intemperismo acelerado, realizado en el Centro Tecnológico del Concreto y en nuestro laboratorio de control, fueron los siguientes:

Pruebas	% Obtenido
Equivalente de Arena	86
Módulo de Finura	3.05
Intemperismo Acelerado	3.075

Tabla 13.- Pruebas de Calidad realizadas al agregado fino.

d).- Agua

El agua empleada para la elaboración del concreto fue extraída de un pozo situado a unos 40 m de la planta y almacenada en un cárcamo de 1000 m³ de capacidad. Previo al inicio de la obra, se le realizó el análisis físico-químico correspondiente para conocer sus características. El informe del análisis mostró que el agua cumplía con los parámetros especificados en la Norma Mexicana NMX-C-122.- “Agua para Concreto-Especificaciones” y con los requisitos establecidos por la S.C.T., por lo que fue aceptada para su utilización en la elaboración de concreto sin ninguna dificultad.

e).- Aditivos

Se empleó un aditivo Reductor de Agua (RA-300) con una dosificación de 4 c.c./kg de cemento y un Inclusor de Aire (AEA-92) a razón de 0.25 c.c./kg de cemento, es importante destacar que, cuando el sitio de colado alcanzó una distancia mayor a los 14 km, el Reductor de Agua se aumentó a 6 c.c./kg de cemento con la finalidad de mantener el mismo revenimiento equivalente a las distancias más cortas.

El suministro del aditivo Reductor de agua fue hecho en pipas y almacenado en 4 tanques con capacidad de 5000 lts cada uno. Para el aditivo Incluser de Aire, por ser menor el consumo, se utilizaron solamente 2 tanques de la misma capacidad. La recarga de los tanques se efectuó conforme se iba consumiendo y esto estaba en función directa del nivel de producción del concreto.



Fig. 7.- Planta Trituradora Productora de Arena.



Fig. 8.- Planta Trituradora Productora de Grava.



Fig. 9.- Pipas Transportadoras de Cemento.



Fig. 10.- Planta Productora de Cemento.

2.1.2.- RESISTENCIA

Se considera que un concreto hidráulico cumple con los requisitos de resistencia fijada en el proyecto cuando se verifica lo siguiente:

- Que el promedio del módulo de resistencia a la tensión por flexión de cada cinco especímenes consecutivos, sea igual o mayor que la resistencia a la tensión por flexión fijada en el proyecto (48 kg/cm² o MR 48) a los 28 días de edad.

- Que en los mismos cinco especímenes cuando menos cuatro tengan resistencia igual o mayor que el 90% de la resistencia fijada en el proyecto para los mismos 28 días de edad.

Las losas de concreto hidráulico por unidad de obra terminada, se midieron tomando como unidad el metro cúbico de concreto con el módulo de resistencia a la tensión por flexión fijada en el proyecto.

A continuación se describen los valores estadísticos que se obtuvieron de acuerdo al muestreo y control de calidad.

Compresión Axial

Tensión por Flexión

Grava	Arena	X	Std.	C.V.	X	Std.	C.V.
-------	-------	---	------	------	---	------	------

(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)
-----------------------	-----------------------	-----	-----------------------	-----------------------	-----

3 días

Tepeapulco	Albricias	267	38	14	40	4	10
Tepeapulco	Lavada-Tepeapulco	279	37	13	42	4	9
Tepeapulco	Combinada	256	29	11	40	4	9

7 días

Tepeapulco	Albricias	334	36	11	45	4	8
Tepeapulco	Lavada-Tepeapulco	368	36	10	49	4	8
Tepeapulco	Combinada	336	27	8	44	3	7

28 días

Tepeapulco	Albricias	424	41	10	52	3	7
Tepeapulco	Lavada-Tepeapulco	473	34	7	57	3	6
Tepeapulco	Combinada	428	36	8	54	3	6

Tabla 14.- Valores obtenidos del desarrollo de Resistencia.

De lo anterior se observa que el desarrollo de la resistencia durante el tiempo especificado fue óptimo, por lo tanto, en el transcurso de todo el proyecto las resistencias a la tensión por flexión, que fue la base de la aceptación del concreto, estuvieron por arriba de los límites especificados.

Al tratar de establecer una correlación entre resistencias a la flexión y compresión, el factor de correlación resultó menor a 0.50, por lo que se concluyó que no es posible tener

una correlación confiable entra ambas resistencias; por lo tanto el valor promedio de la resistencia a la tensión por flexión fue equivalente a un 12.2% con respecto al valor promedio de la resistencia a la compresión.

2.2.- DISEÑO DE MEZCLA

El control y proporcionamiento de todos los materiales para elaborar la mezcla de concreto fresco, incluyendo el agua, se realizó en peso, utilizando básculas previamente calibradas. El área donde se realizaron las operaciones de pesado del cemento, se sellaron y se contó con un sistema de filtración para evitar fugas de material.

El manejo de los agregados garantizó que no se produjeran segregaciones o contaminaciones con materiales ajenos al concreto y/o sustancias perjudiciales.

Antes de ser mezclados, los agregados fueron separados por lo menos en dos tamaños para ser pesados.

La elaboración de la mezcla se realizó en una planta de mezclado central, el tiempo de mezclado que termina en el momento de la descarga de la mezcla, nunca fue menor de 40 ni mayor a 100 segundos.

Una vez conocidas las especificaciones y las características de los materiales disponibles, se efectuaron alrededor de 30 mezclas de prueba en el laboratorio de la Planta de Concretos de Tultitlán en el Estado de México para encontrar el diseño óptimo que se ajustó a las condiciones establecidas en el proyecto.

Entre las mezclas que se diseñaron fueron:

- Diseño No. 1.- Grava de Tepeapulco con arena de Albricias.**
- Diseño No. 2.- Grava de Tepeapulco con arena lavada de Tepeapulco.**

Las cantidades finales de los materiales de cada uno de los diseños óptimos encontrados y que fueron utilizados en la elaboración del concreto fueron los siguientes:

DISEÑO No. 1

Materiales	Cantidad por m3	Unidad
Cemento Tipo I (Planta Apaxco)	340	Kg
Grava 5/20 mm de Tepeapulco	500	Kg
Grava 20/38 mm de Tepeapulco	500	Kg
Arena Natural de Albricias	687	Kg
Agua de pozo de Zempoala	138	Lts.
Reductor de Agua RA-300 (EUCOMEX)	1.36	Lts.
Incluser de Aire AEA-92 (EUCOMEX)	0.085	Lts.

Tabla 15.- Diseño aprobado para utilizar en el proyecto

DISEÑO No. 2

<u> Materiales </u>	<u> Cantidad por m3 </u>	<u> Unidad </u>
Cemento Tipo 1 (Planta Apasco)	340	Kg
Grava 5/20 mm de Tepeapulco	485	Kg
Grava 20/38 mm de Tepeapulco	485	Kg
Arena Lavada de Tepeapulco	687	Kg
Agua de pozo de Zempoala	160	Lts.
Reductor de Agua RA-300 (EUCOMEX)	1.36	Lts.
Inclisor de Aire AEA-92 (EUCOMEX)	0.102	Lts.

Tabla 16.- Diseño aprobado para utilizar en el proyecto.

Se consideró una tercera alternativa en el diseño de la mezcla que consistió en combinar, en volumen, 50% arena de la mina de Albricias y 50% de la arena lavada del banco de Tepeapulco.

2.3.- EQUIPO

La capacidad de las plantas productoras de concreto premezclado se instalaron acorde con la velocidad de tendido o de colocación en el sitio de construcción. Esto es importante ya que se coordinan de manera óptima los equipos de producción y de tendido, a fin de minimizar problemas de secado prematuro de mezclas en un extremo y tiempos perdidos en la colocación (mano de obra y equipos).

De preferencia, las plantas mezcladoras tienen que contar con dispositivos que midan los pesos de cada uno de los componentes; durante la ejecución de los proyectos carreteros se contó con Plantas de Mezclado Central con una capacidad máxima de 350 m³/hr en cada uno de los casos cumpliendo así con los requerimientos y especificaciones de los proyectos.

2.3.1.-TIPOS DE PLANTAS

Para realizar eficientemente el suministro de los productos convenidos se decidió en forma conjunta entre Concretos Apasco y Dinfracofimex en el caso del proyecto Pirámides-Tulancingo, instalar una dosificadora con capacidad de 60 m³/hr destinada a suministrar el concreto para estructuras complementarias y otra de Mezclado Central con capacidad de 350 m³/hr cuyo propósito fue el de producir el concreto para la carpeta de rodamiento y la mezcla de la sub-base estabilizada; y en el caso del proyecto Palmillas-Querétaro, se tomó la decisión entre Concretos Apasco y Tribasa de instalar dos plantas de Mezclado Central en obra, además se contó con el apoyo de las plantas dosificadoras de Querétaro y San Juan del Río para el suministro de concreto para estructuras complementarias al proyecto.

2.4.- UBICACIÓN

El terreno donde se ubicó la planta de concreto dependió de un gran número de variables. La variable más importante fue ubicar la planta lo más cercana al centro de gravedad del tramo a pavimentar, esto con el objeto de disminuir los costos de transporte del concreto.

Las dimensiones del terreno donde se instaló la planta de concreto dependió de la magnitud del proyecto. Si el volumen a pavimentar es mayor a 100,000 m³ se requerirá de grandes almacenes de grava y arena, por lo que el tamaño recomendable será de no menos de 4 a 5 hectáreas.

Hay que tomar en cuenta que si se producen unos 300 m³ de concreto por hora se requerirán aproximadamente 1650 m³ de grava, 1200 m³ de arena, 770 ton de cemento para un turno de 8 horas, lo que representa unos 504 viajes en camiones de 14 m³, incluyendo los camiones necesarios para mover el concreto, además de unas 25 pipas con 30 ton de cemento cada una. Todo este tráfico se moverá alrededor del terreno de la planta durante las 8 horas de producción, un terreno pequeño congestionaría el tráfico de materiales y dificultaría el envío de concreto al lugar de tendido.

La Planta de Mezclado Central fue instalada en el km 64+000 sobre la carretera Pirámides-Tulancingo en un terreno de 36,000 m². y en el proyecto Palmillas-Querétaro se ubicaron las dos Plantas de Mezclado Central sobre la carretera México-Querétaro, una en el poblado "Los Cues" y la segunda en el poblado "El Sauz".

La logística de distribución de los espacios fue hecha de tal manera que se pudo almacenar el 85% de la grava y el 12% de la arena que se emplearía en los proyectos, así como el acceso y salida de los vehículos para el acarreo del resto de los agregados y el transporte del concreto.

Dichas ubicaciones constituyeron el punto estratégico ideal, porque desde ahí se pudo distribuir el concreto a todo el tramo, sin ninguna dificultad dentro de la tolerancia permitida de 30 minutos como tiempo máximo de entrega.



Fig. 11.- Croquis de Localización de la Planta de Mezclado Central

2.4.1.- LOGÍSTICA

Es esencial que exista un flujo ininterrumpido de concreto del sitio de la planta a la operación de pavimentación. Esto ayudó a mantener el suministro constante del concreto para construir un pavimento uniforme, durable y de alta calidad. Cada vez que la pavimentadora tiene que detenerse, existe la posibilidad de que se produzcan protuberancias en el pavimento, ya que el equipo de pavimentación parado ejercerá cierta presión sobre la losa que la hará consolidarse un poco más al resto del pavimento, por lo que se producirá en ese punto una pequeña depresión. Este defecto en la mayoría de los casos es imperceptible y solo se manifiesta con el paso de los vehículos.

Los aspectos más importantes a considerar en el dimensionamiento del terreno para la planta de concreto son los siguientes:

- Cantidad o volúmen de materiales.
- Volumen total esperado del almacén.
- Logística para la alimentación de agregados a la planta.
- Rangos de producción total esperado y promedio.
- Flujo y características del tráfico.
- Área necesaria para el lavado de camiones.
- Almacenamiento del agua de desecho.

Debemos examinar el sitio completo del proyecto, veremos que la transportación del concreto de la planta a la operación de pavimentación es una parte importante para la selección del sitio de la planta. También se debe tomar en cuenta la entrega y almacenamiento de las materias primas.

Es necesario diseñar un flujo de tráfico para los vehículos que entregan los materiales, para que no haya una interferencia con los vehículos de acarreo del concreto, así para mantener un buen sistema de control y seguridad de tráfico.

Es importante considerar un área suficiente para el almacenamiento de los materiales, así como para el tráfico de los vehículos que los moverán. Es necesario también prever un espacio para las pipas de cemento que se quedarán estacionadas en la descarga del cemento. Así mismo, se debe prever un área para el lavado de los camiones del concreto ya que estos tendrán que pasar al lavado de las cajas cada dos o tres viajes, así como también el resto del equipo de pavimentación.

Es importante determinar la fuente de agua y su ubicación, así como su energía y disponibilidad de comunicación (accesos).

Fué necesario evaluar cuidadosamente el consumo de agua requerido por el proyecto, así como determinar la cantidad de almacenamiento de agua requerida en el sitio y si se limita la disponibilidad de la misma.



Fig.12.- Concreto colocado en tramo.



Fig.13.- Concreto transportado a obra y colocado por Pavimentadora.

2.4.1.1.- SUMINISTRO DE MATERIALES A PLANTA

Para evitar pérdidas mayores de materiales pétreos, antes de transportar cualquier material o equipo hacia el sitio de la planta, este debió estar nivelado y limpio de tierra vegetal y revestirlo con una capa de material permeable. El material removido estuvo almacenado para restaurar el sitio a su estado original.

El drenaje fué importante durante todas las fases de planificación de las instalaciones de la planta, fué primordial mantener un drenaje adecuado en todo momento. Las Plantas de Mezclado Central deben ser capaces de producir concreto en un lapso breve después de una precipitación intensa, por lo mismo fue importante haber mantenido en buenas condiciones los caminos de acceso a la planta, también fué necesario cuidar el drenaje superficial en el almacén de agregados para evitar que estos se contaminaran. También se controló la erosión de los caminos de acceso y del área de almacén para evitar que los transportes de materiales acarreen arcillas que contamináran los almacenes de agregados.

La preparación de los cimientos de la planta varió de acuerdo a las condiciones existentes y de las recomendaciones propias del fabricante de los equipos. Se ofreció un soporte uniforme que minimizó el asentamiento de la planta. Un asentamiento irregular afecta las conexiones y las básculas, así como los rodillos que soportan los cilindros de mezclado.

Se debe diseñar la cimentación y el soporte para permitir un flujo de tráfico adecuado. Es necesario revisar la cimentación regularmente para prever asentamientos, sobre todo en zonas sísmicas.

El transporte de los materiales se efectuó de los bancos de Tepeapulco (grava) y del banco de Albricias (arena) en el caso del proyecto Pirámides-Tulancingo y en el caso de Palmillas-Querétaro, la grava se abasteció del banco La Machorra y la arena de San Miguel Galindo y de La Griega, tomando en cuenta que estos bancos cumplieron con los requerimientos en cuanto a volumen, calidad y cercanía a los almacenes de las plantas, para poder abastecer adecuadamente el volumen requerido de agregados, fue necesario contar con 100 camiones aproximadamente con un flujo vehicular constante.

Es importante hacer mención que durante el tiempo de los proyectos, se mantuvo una buena coordinación de flujo vehicular y gracias a ello los almacenes de agregados permanecieron con un volumen constante para que la producción no se detuviera.



Fig.14.- Planta de Mezclado Central.

2.4.1.2.-TIEMPO DE TRASLADO

Aunque no existe una forma perfecta para transportar y manejar al concreto, una planeación anticipada puede ayudar en la elección del método más adecuado evitando así la ocurrencia de problemas.

La planeación deberá tener en consideración tres eventos que, en caso que sucedan durante el manejo y la colocación, podrían afectar seriamente la calidad del trabajo terminado:

- **Retrasos:** El traslado se realizó con la mayor rapidez, contando con una buena planeación y con el equipo adecuado para evitar retrasos que pudieran ser originados por factores tales como condiciones climatológicas, fallas mecánicas tanto en planta como en el equipo de transporte y colocación, y errores técnicos en obra.

En algún momento durante el desarrollo de los proyectos se presentaron retrasos que contribuyeron a la pérdida de revenimiento y aumento en la temperatura del concreto.

- **Endurecimiento temprano y secado:** El concreto comienza a endurecer en el momento en que se mezclan el cemento con el agua, pero el grado de endurecimiento que ocurre durante los primeros 30 minutos normalmente no presenta problemas; por lo general, el concreto que se haya mantenido en agitación se puede colocar y compactar dentro de la primera hora y media posterior al mezclado.

En ambos proyectos la planeación evitó y minimizó cualquier variable que permitiera que el concreto endureciera hasta el grado de no poder lograr una consolidación completa y se dificultara efectuar el acabado. Se dispuso de menos tiempo cuando nos enfrentamos a condiciones que aceleraron el proceso de endurecimiento, tales como altas temperaturas, el uso de aditivos acelerantes y el uso de concreto calentado.

- **Segregación:** La segregación es la tendencia que presenta el agregado grueso a separarse del mortero cemento-arena. En este caso las consecuencias que se presentaron, fue que la mezcla presentó una parte pequeña de agregado grueso y el resto tuvo agregado grueso en cantidades excesivas, por lo que la primera parte tuvo más contracción y se agrietó y tuvo baja resistencia a la abrasión; la segunda fue demasiado áspera para lograr una consolidación y acabado total y era causa de apanalamientos.

En general, el tiempo de traslado en los dos proyectos se mantuvo uniforme en 35 minutos promedio, logrando así un mejor nivel de producción y aprovechamiento del equipo móvil con el que se contó, además de cumplir con las especificaciones de tiempos y distancias que exigían los proyectos y cumpliendo con los programas de obra estipulados por los constructores para terminar las obras dentro del programa de entrega.

2.4.1.3.- COORDINACIÓN DIRECTA PLANTA-TRAMO

El establecer un equipo de coordinación planta-tramo fue indispensable para el desarrollo adecuado de los proyectos, ya que las funciones de dicho equipo, fueron un punto clave dentro de la logística de distribución para detectar y anticiparse a los problemas que pudieran afectar la calidad del producto y desarrollo de las obras. Las funciones de este equipo de trabajo, fueron desde coordinar los horarios de trabajo del personal de planta y obra, hasta determinar la finalización de producción y mano de obra diaria.

La coordinación planta-tramo, se integró por personal tanto de Concretos Apasco como de las constructoras y tuvo la siguiente estructura:

- **Dosificación** Se encargó de mantener un nivel constante de producción y calidad de producto, coordinó directamente al personal involucrado en la planeación, elaboración y distribución en planta de materiales y concreto.
- **Coordinador Técnico:** Su intervención antes y durante los proyectos fue muy importante, ya que él supervisaba directamente el trabajo del personal de laboratorio que consistía en diseños de mezcla, muestreos tanto en planta como en obra, monitoreo de revenimientos en planta, verificación de resultados de pruebas de ensaye, modificaciones técnicas y atención personalizada para la solución de problemas técnicos generados en las obras.
- **Supervisor de obra:** Su función principal era mantener comunicación directa entre las áreas involucradas en el desarrollo de las obras para la resolución de los problemas.

Las actividades principales que desempeñó, fueron coordinar el arranque de suministro de concreto a obra, monitoreo de resultados de muestreo a coordinación técnica, monitoreo constante de revenimientos al dosificador, mantener el nivel óptimo de producción, toma de decisiones en conjunto con los constructores y supervisión de obra para suspensión de suministro en caso de existir fallas mecánicas o climatológicas y resolución de problemas técnicos en conjunto con el coordinador de esta área.

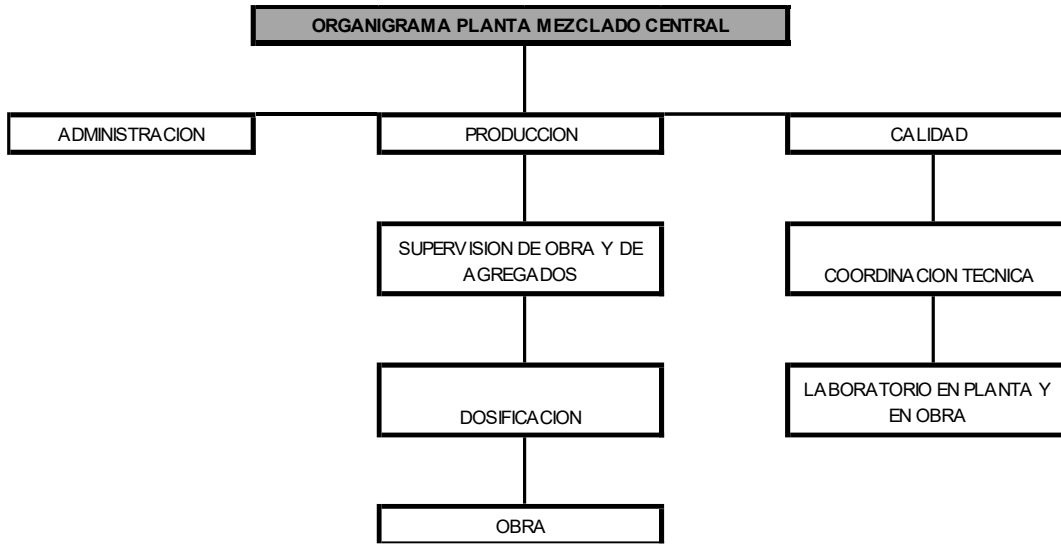
El haber contado con este equipo de coordinación planta-tramo, favoreció en gran parte la adecuada planeación, evolución y desarrollo de los proyectos, logrando cumplir con los estrictos requerimientos en cada caso, apreciándose durante y al finalizar cada uno de los proyectos carreteros.



Fig.15.- Diversas actividades para preparación del tramo.



Fig.16.- Preparación de tramo y coordinación con el tendido de concreto.



Diag. 2.- Organigrama de Planta Mezclado central.



Fig.17.- Comunicación constante con personal operativo.

2.5.- PRODUCCIÓN

El concreto premezclado se dosificó y se mezcló fuera del sitio de los proyectos y se entregó en el área de construcción en estado fresco y sin endurecer.

La manufactura fue elaborada por medio de una planta de mezclado central en la que el concreto se mezcló completamente en dos mezcladores estacionarios, uno horizontal y un "tilter" y la entrega se llevó a cabo en camiones de volteo y camiones que tienen incluida una banda transportadora, llamados "flow boy's".

Las ventajas que proporcionó utilizar plantas de mezclado central fueron:

- Alta producción.
- Mejor control en la producción.
- Mejor suministro, por ser continuo e ininterrumpido.
- Acarreos más cortos al ubicar las plantas cerca de los proyectos.
- Más control sobre el suministro de materiales.

Es importante resaltar que con este tipo de planta hubo que maximizar el control de tiempos entre producción y entrega-tendido, ya que una de las desventajas que presentó fue tiempo limitado para tenderlo y moverlo en la superficie a pavimentar, antes de que empezara a fraguar o a perder rápidamente su revenimiento. Este período de tiempo varió de acuerdo a las condiciones climáticas, las características del cemento y agregados, dosificación y calidad de los aditivos y a la calidad del proceso de mezclado. En condiciones climáticas normales, este lapso de tiempo puede ser de 45 minutos a una hora 15 minutos.

Aun cuando la planta estuvo diseñada para producir grandes volúmenes de concreto, la producción se vio afectada por una serie de factores, tales como:

- Condiciones Meteorológicas.
- Fallas en la Pavimentadora.
- Paros de Camiones.
- Fallas en la Planta de Mezclado Central.
- Falta de coordinación entre los ejecutantes de la obra.

En condiciones normales se tuvo una producción promedio de 250 m³/hr. y en condiciones óptimas de 350 m³/hr.

A partir del diseño óptimo, se efectuaron las correcciones necesarias durante la producción del concreto, debido a las variaciones de las condiciones climatológicas y de los agregados, buscando siempre que la mezcla tuviera buena apariencia y trabajabilidad, alta cohesión y bajo sangrado, que fue el objetivo de toda la obra.

Volúmen de concreto producido con las diferentes arenas

Grava	Arena	Volúmen (m3)	%
Tepeapulco	Albricias	68,426	67.41
Tepeapulco	Lavada de Tepeapulco	27,727	27.32
Tepeapulco	Combinada	5,349	2.27
Total		101,502	100

Tabla17.- Materiales utilizados en la producción de concreto.

La cantidad de cada uno de los materiales empleados para la elaboración del concreto en todo el proyecto, se resume como sigue:

Material	Cantidad	Unidad
Cemento Tipo I	35,526	Ton
Grava	81,252	m3
Arena	49,367	m3
Aditivo Reductor RA 300	142,104	lts
Aditivo I. De Aire AEA 92	9,413	lts

Tabla 18.- Total de materiales en la producción de concreto.

CAPÍTULO III: TRANSPORTE Y COLOCACIÓN

OBJETIVO ESPECÍFICO: MENCIONAR EL TIPO DE TRANSPORTE Y EL EQUIPO DE TENDIDO PARA COLOCACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN TRAMO.

3.1.-EQUIPO

El equipo de pavimentación, en particular el de colocación de las losas de concreto, se ejecutó mediante extendedoras equipadas con tornillos sin fin o por medio de una caja de distribución, barra engrasadora, vibradores de inmersión, apisonadores, placa niveladora, y llana de homogeneización del terminado. Normalmente todos estos componentes trabajaron con sistemas hidráulicos.

Para poder iniciar el trabajo de pavimentación, fue necesario colocar una línea guía para los sensores de la máquina. Estos sensores transmiten a la máquina la sección geométrica a pavimentar. Estas máquinas tienen generalmente 4 sensores de elevación vertical en cada esquina de la máquina, los cuales permiten la elevación independiente de cada esquina. También cuentan por lo menos con dos sensores de posición en las patas u orugas delanteras, que le indican a la máquina pavimentadora la trayectoria de pavimentación. En su conjunto la totalidad de los sensores le permiten a la máquina pavimentadora ejecutar cualquier curva vertical, horizontal o sobre-elevación que se requiera.

3.1.1.- TRANSPORTE

El transporte de los agregados y/o la mezcla se efectuó en camiones mezcladores, pero previniendo cualquier pérdida de humedad o material se procedió a su lavado con agua a presión cuando se tuvieron residuos que afectaran el buen comportamiento del concreto.

En el caso de emplear camiones no mezcladores, estos contaron con caja de lámina cubierta que evitó la evaporación de la mezcla y mecanismos que depositaron la mezcla en forma satisfactoria, sin segregaciones. La caja estuvo perfectamente limpia antes de ser utilizada con nuevas mezclas.

Cuando el concreto fresco se depositó en el lugar de colado se previno cualquier segregación de los materiales. El ángulo de caída fue lo suficientemente pronunciado por lo que se logró el fácil movimiento de las revolturas pero sin que se hayan clasificado los agregados.

En el caso del proyecto Pirámides-Tulancingo, el transporte del concreto se efectuó mediante camiones de volteo de una capacidad nominal de 14 m³., sin embargo, debido a la densidad del concreto únicamente se cargaron con 9 m³ equivalente a 19.4 toneladas de peso y en el proyecto Palmillas-Querétaro el transporte se realizó por medio de camiones llamados "flow boy's" ya que cuentan con una banda transportadora que facilitó la descarga del concreto y esto proporcionó más fluidez en la descarga y tránsito de camiones, evitando así paros innecesarios en la obra.

El tiempo aproximado que hacían los camiones de la planta a la obra era de 45 min. por cada ciclo facilitando el control de flujo vehicular en tramo por medio de la coordinación de descarga de los camiones.

3.1.2.- COLOCACIÓN O TENDIDO

Previamente a la construcción de los pavimentos de concreto se realizó un tramo de prueba de 200 m de longitud tendido en dos franjas paralelas y adyacentes de 610 cm de ancho, cada uno fuera del derecho de vía de la autopista. Este tramo tuvo el propósito de verificar la calidad de todos los materiales, el equipo a emplear y los procedimientos de ejecución.

La construcción de losas de un mismo cuerpo se efectuó simultáneamente en todo el ancho de corona prevista, en una sola franja a todo lo ancho de la superficie por pavimentar.

La superficie de la sub-base estabilizada con cemento sobre la que se colocó el concreto debía estar perfectamente limpia, ligeramente humedecida y exenta de sustancia ajenas al concreto, terminada dentro de los niveles y tolerancias permitidos.

La colocación y compactación del concreto se hizo dentro de los 30 minutos siguientes a su elaboración.

El concreto se coló por los medios apropiados evitando la segregación de los materiales, se esparció con extendedoras o pavimentadoras autopropulsadas con cimbra deslizante del tipo SLIP FORM PAVER 450. Este equipo contó con sensores de nivel y la orilla de la losa formó un ángulo de 90° con respecto a la superficie. Este equipo tuvo la capacidad de insertar las barras de amarre para las juntas longitudinales.

Su compactación se llevó a cabo adecuadamente desde la superficie con vibradores de inmersión y de regla.

El concreto fue colocado por medio de dos pavimentadoras de cimbra deslizante:

- SF-550 Propiedad de Mexicana de Pavimentos de Concreto, S.A.
- SF-450 De la Compañía Constructora La Nacional, S.A.

Algunos datos técnicos del concreto determinados en el sitio del colado son los siguientes:

- Temperatura de colocación: 18 a 29 °C.
- Revenimiento: 3 a 6 cm.
- Peso Volumétrico: 2,142 a 2,160 kg/m³.
- Contenido de Aire: 3.1 a 3.8%.



Fig.18.- Prueba de tendido de concreto en estado fresco.



Fig.19.- Afine y texturizado de superficie colocada y compactada.

En algunos casos, antes de iniciar el vaciado del concreto frente a la pavimentadora fue necesario colocar las barras pasajuntas por medio de silletas o canastas. Estas canastas quedaron fijas asegurándolas con clavos de fijación.



Fig.20.- Sujeción de canastas.

Una vez vaciado el concreto frente a la máquina, el tornillo sin fin o el cajón de distribución, situado en la parte frontal e inferior de la extendidora, distribuía la mezcla a lo ancho de equipo. Al avanzar, la máquina accionaba una puerta o escantillón que permite dar entrada a la cantidad de concreto aproximada y necesaria para dar el peralte de la losa.



Fig. 21.- Concreto distribuido por la Pavimentadora.



Fig.22.- Peralte de la Superficie de Rodamiento.

La batería de vibradores de inmersión en forma de "L" se utiliza para fluídizar y consolidar el concreto. Los rangos comunes de vibración van de 4,000 a 12,000 rpm.

Al mismo tiempo de la acción de los vibradores, actúa la cuchilla apisonadora que funcionaba a manera de elemento segregante, es decir, permite que parte del mortero se eleve hacia la superficie, y con ello se protejan los agregados gruesos y se logre un mejor acabado. El evitar que aparezcan agregados gruesos en la superficie, evitará que estos sean arrastrados, y se obtengan texturas irregulares y deficientes.

Al final de la placa de acabado junto con las cimbras deslizantes situadas a los lados, proporcionan la sección final casi terminada. En la parte posterior, se localiza una llana mecánica que distribuye el mortero excedente a la sección final de la losa. Esta llana, de longitud del orden de 4 metros, tiene un movimiento oscilatorio en dirección longitudinal y se desplaza transversalmente al camino.

Fue conveniente contar con una brigada de dos albañiles a cada lado del pavimento que verificaban la calidad de la losa y daban los retoques necesarios. Este personal contó con reglas de 3 metros con mangos que permitieran alcanzar la parte media de la sección del pavimento. Esta herramienta se utilizó principalmente para verificar la calidad de la superficie de la losa.

Casi todas las pavimentadoras pueden colocar las varillas de sujeción para las juntas longitudinales y para uniones con acotamientos de manera mecánica y de acuerdo a las características que tuvieron los proyectos. Las varillas son insertadas mecánicamente al concreto fresco hasta su posición final.

3.3.- JUNTAS

En las juntas que mostraron los proyectos y/o en los sitios que indicó la S.C.T. se colocaron barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas, las barras fueron corrugadas, de acero estructural, con límite de fluencia (f_y) de 4200 kg/cm², debiendo quedar ahogadas con las losas, en las dimensiones y la posición que indicaban los proyectos.

3.3.1.- JUNTAS CONSTRUCTIVAS Y POR TEMPERATURA

Las juntas se clasifican en:

- Longitudinales aserradas con barras de amarre.
- Transversales de construcción aserradas.
- Transversales de construcción con barras de amarre.
- Transversales de construcción de emergencia.

Las juntas longitudinales aserradas tipo A con barras de amarre se construyeron en los sitios que indicaron los proyectos.

Las juntas transversales de contracción aserradas tipo B de acuerdo con la sección estructural tipo que corresponda.

Las juntas transversales de construcción con barras de amarre tipo C se construyeron en los lugares predeterminados para finalizar el colado del día, coincidiendo siempre con una junta transversal de contracción pero alineada perpendicularmente al eje de la autopista, estas juntas se construyeron a tope.

Cuando por causas de fuerza mayor, fue suspendido el colado por más de 30 minutos se procedió a construir una junta transversal de emergencia con la que se suspendió el colado hasta que fue posible reiniciarlo. Las juntas transversales de emergencia tipo C son exactamente iguales que las transversales de construcción tipo D, excepto que en general no coincidieran con una junta transversal de contracción. Las juntas de emergencia siempre quedaron dentro del tercio de longitud de la losa, para ello si fue necesario demoler el concreto del primer tercio medio de la losa si dentro de él ocurrió la emergencia.

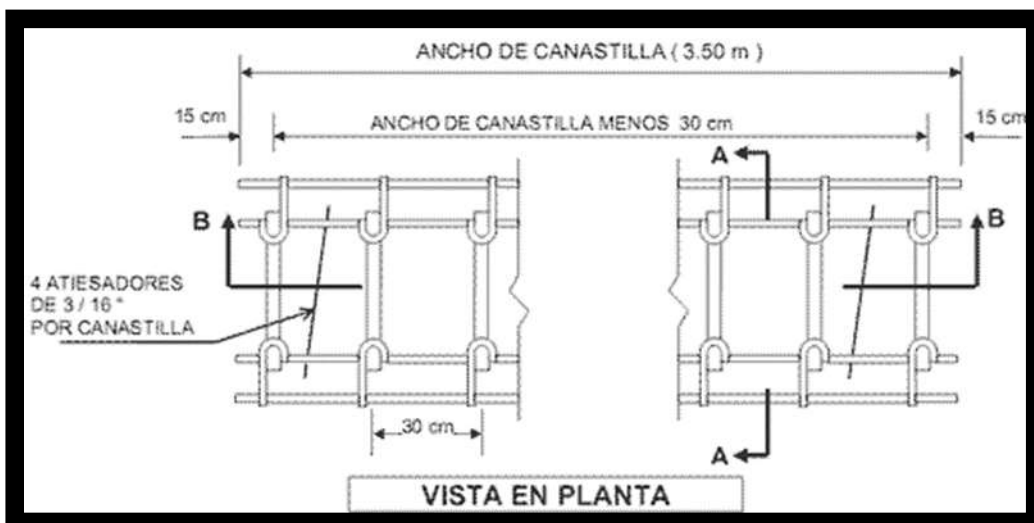


Fig. 23.- Corte de Canastilla.

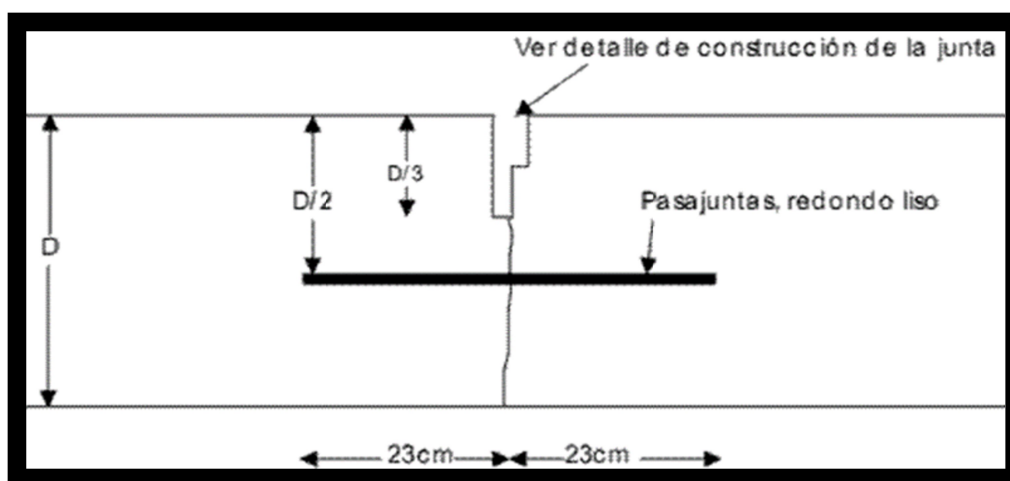


Fig. 24.- Junta Transversal con barra de Amarre.

CAPÍTULO IV: TEXTURIZADO, CURADO, CORTE Y SELLO

OBJETIVO ESPECÍFICO: DESCRIBIR EL EQUIPO COMPLEMENTARIO QUE SE UTILIZA EN LA SIGUIENTE FASE DE TENDIDO DE CARPETA.

4.1.-EQUIPO DE TEXTURIZADO

Inmediatamente detrás del equipo de tendido y una vez que el concreto perdió el brillo, se procedió a dar la micro y macro textura. La primera de ellas se logró pasando una tela de yute, a eliminar la superficie lisa recién dejada en el concreto. Normalmente, esta tela se colocó en extensiones metálicas, a manera de bastidores de la parte delantera del marco texturizador. Esta misma máquina contó en su parte inferior y trasera con ductos y salidas para la membrana de curado, que permitió lograr una aplicación expedita y uniforme. En algunos casos y en función de la velocidad de pavimentación se utilizaron dos máquinas para hacer los trabajos de texturizado y curado.

Los principales componentes del equipo de texturizado son:

- Bastidor de texturizado longitudinal. Se complementa con una arpillera o tela de yute que elimina la superficie lisa recién dejada en el acabado final después de la pavimentadora. Todo este brazo con tela corre a lo largo de la losa que se acaba de colocar; cuenta con una tubería que distribuye rociado de agua a lo largo del ancho de la sección.
- Cabezal de texturizado. Bastidor situado en la parte inferior de la texturizadora completada con cerdas metálicas con las que al ser insertadas en el concreto fresco produce la macrotextura. El cabezal con el peine corre a través de un riel metálico.
- Las cerdas metálicas son planas, ligeramente flexibles y deben estar separadas a centros a no menos de 1.12 cm. ni más de 2.5 cm. Las cerdas no deben estar muy cercanas, ya que producen desgarramientos en la superficie pues se aplica en el concreto cuando está fresco. Por otro lado tampoco deben estar muy separadas ya que se puede originar un ruido excesivo al paso de los vehículos. El ancho de las cerdas es del orden de 3.2 mm. y se debe aplicar en el concreto cuando este sea todavía plástico de manera que las ranuras formadas tengan una profundidad mínima aproximada de 3.2 mm. pero no mayor a 6.4 mm.

La aplicación se realizó de manera continua a lo ancho de la sección tratando de que las diferentes aplicaciones pasadas del peine sean lo más cercanas posibles entre sí, sin llegar a producir traslapes.

4.1.1.- EQUIPO DE CURADO

Un paso importante en la pavimentación con concreto fué el método utilizado para prevenir o disminuir la pérdida de agua de la losa colocada, esta actividad se llevó a cabo, inmediatamente después de haber terminado los trabajos del texturizado. La superficie se roció con una membrana de curado para prevenir en lo posible ésta pérdida. Los materiales para el curado utilizados fueron compuestos a base de agua con un 34% de sólidos disueltos de parafina. Estas membranas incluyeron una pigmentación blanca para reflejar la luz solar y evitar el sobrecalentamiento de la losa.

Los compuestos de curado con pigmentación blanca son visibles cuando se aplican y permiten identificar la uniformidad de su colocación. Se deben de mezclar los compuestos de curado completamente y agitarlos continuamente para evitar el asentamiento de los sólidos en suspensión. En los proyectos se utilizó el suministro y almacenamiento de este producto en tanques de 200 litros.

La preparación y mantenimiento del equipo rociador de curado incluye vaciar las boquillas antes de operarla. En todo momento se aseguró el curado en los bordes o caras verticales de la losa.

4.1.2.- EQUIPO DE CORTE Y SELLO

El corte del pavimento para formar el sistema de juntas tanto en sentido transversal como longitudinal se efectuó con cortadoras clasificadas como medianas empleando el método húmedo, es decir, que los discos de corte requieren agua para lubricación y enfriamiento para proteger el marco metálico del disco. Para seleccionar el mismo, se tomó en cuenta que fuera compatible con la potencia de la cortadora, la dureza de los agregados y del diseño de la mezcla del concreto.

Los factores de selección del disco se pueden definir como primario y secundario. Los factores primarios incluyen dureza y abrasión del agregado grueso. Los factores secundarios son la potencia de las máquinas cortadoras, el diseño de la mezcla, la edad del pavimento en el momento del corte, los aditivos u otros cementantes que se utilicen como cenizas volantes, la abrasión del agregado fino.

El corte transversal fue extremadamente importante, ya que las juntas transversales desahogaron la energía de la masa en el sentido longitudinal que a su vez fue mucho mayor a la energía que se produjo por la masa del concreto en su sentido transversal.

Posteriormente se efectuó el corte de ensanchamiento que sirve como preparación para colocar la barra de respaldo y recibir el material de sello.

El sellado de las juntas minimizó la penetración de agua y material incompresible, tales como piedras pequeñas que pueden conducir a que la junta falle, deteriore el pavimento. La penetración de agua a la capa subrasante cerca de las juntas, puede arrastrar los finos y consecuentemente hacer que la losa pierda su soporte. Las juntas bien selladas ayudan a mantener la integridad estructural de la losa y de la sub base con el paso del tiempo.

El tipo de junta, su forma y el material de sello están interrelacionados entre sí y deben de ser compatibles para un comportamiento adecuado del pavimento.



Fig. 27.- Junta preparada al final de la jornada de colado.



Fig. 28.- Junta provocada y maquina texturizadora.



Fig. 29.- Acabado con tela de Yute, primer paso del Texturizado.



Fig. 30.- Afine de hombros de losa, plana y texturizado.



Fig. 31.- Medición de losa para realizar los cortes transversales.



Fig.32.-Cortes Transversales y Longitudinales.



Fig. 33.- Corte Inicial Transversal y Grieta Inducida.



Fig. 34.- Equipo realizando corte de la Losa.



Fig. 35.- Corte Transversal realizado por disco de diamante.



Fig. 36.- Sierra con disco de diamante para cortes en concreto.

ESPECIFICACIONES.

La profundidad del corte fue realizado de acuerdo a lo especificado, a un tercio del espesor de la losa del pavimento.

Es importante destacar que primero se efectuó un corte inicial de $\frac{1}{4}$ " de espesor para crear un plano de debilidad para controlar el agrietamiento por contracción de las losas. Este corte se hizo en ambas direcciones, transversales y longitudinales. El corte transversal se ejecutó tan pronto como la losa pudo soportar el peso del equipo de corte, y no antes de que el equipo pudiera efectuar los cortes sin producir desmoronamientos o despostillamientos desmedidos. El corte longitudinal se hizo posteriormente al corte transversal. El tiempo en que se hizo el corte fue de entre 10 y 12 horas a partir del tendido del concreto.

4.3. - TEXTURIZADO

Inmediatamente detrás del equipo de tendido y una vez que el concreto estuvo próximo a perder el brillo, se dio la micro y macrotextura. La primera de ellas se logra pasando una tela de yute, a eliminar la superficie lisa dejada en el concreto. Esta tela se colocó en los brazos extensores localizados en la parte trasera o terminal de la pavimentadora y en extensiones metálicas, a manera de bastidores de la parte delantera del carro o marco texturizador. Esta máquina cuenta en su parte inferior y trasera con ductos y salidas para la membrana de curado, que permite lograr una aplicación expedita y uniforme.

En algunos casos y en función de la velocidad de pavimentación, se utilizaron dos máquinas para hacer los trabajos de texturizado y curado.

Las partes principales de los equipos de texturizado que se utilizaron, son:

- Unidad de alimentación: motor diesel con bomba para marcha de un sistema de tres bombas.
- Bomba para el control direccional del equipo: mediante una tubería se controlan los sistemas hidráulicos de cada una de las ruedas de que consta el carro.
- Bomba auxiliar: es necesaria para controlar la dirección del equipo y las varias maniobras de acabado a ser realizadas por el operador.
- Dirección automática: consta de cuatro sensores.

4.3.1.- CARACTERÍSTICAS

Otra fase del texturizado se lleva a cabo en base a cerdas metálicas planas ligeramente flexibles y deben estar separadas a centros a no menos de 1.2 cm. ni más de 2.5 cm. ya que producen desgarramientos en la superficie, pues se aplican en el concreto cuando está fresco. El ancho de las cerdas es de 3.2 mm. y se debe aplicar en el concreto cuando este sea todavía plástico, de manera que las ranuras formadas tengan una profundidad mínima aproximada de 3.2 mm. pero no mayor a 6.4 mm.



Fig.37.- Sellado de cortes.



Fig.38.- Tramo totalmente terminado. .

CAPÍTULO V: CASOS ACTUALES

OBJETIVO ESPECÍFICO: MENCIONAR LAS DIFERENTES EXPERIENCIAS QUE SE OBTUVIERON EN DOS PROYECTOS CARRETEROS.

5.1.- GENERALIDADES DEL TRAMO PIRÁMIDES-TULANCINGO

Durante el año 1997, se llevó a cabo el proyecto carretero Pirámides-Tulancingo en el que inicialmente participé como supervisor de agregados, este puesto me ayudó a familiarizarme con los procesos de elaboración del concreto premezclado.

Dentro de mis principales funciones se encontró el recibo y almacenaje de materiales manteniendo cierto stock para asegurar la producción semanal; de éstas actividades aprendí a conocer la calidad de los diversos agregados (arenas, gravas), siempre en conjunto con el laboratorio de calidad; así mismo, pude conocer las distintas pruebas físicas y químicas que se deben practicar para todo tipos de agregados que intervengan en la elaboración del concreto premezclado para poder cumplir con la especificaciones y requerimientos del proyecto.

Un punto muy importante de desarrollo personal, fue el trabajo en equipo, al interactuar con el personal de otras áreas involucradas en dicho proyecto, tales como: producción, laboratorio, mercadotecnia, logística y distribución. Esto me ayudó a generalizar mi visión dentro del sistema carretero permitiéndome establecer una comparación entre los conocimientos teóricos y las experiencias, creándome un criterio más amplio que significó seguridad en la toma de decisiones.

Más adelante tuve la oportunidad de participar directamente en la coordinación planta-tramo, en donde mis funciones básicas eran coordinar la logística del suministro y tendido del concreto premezclado al igual que monitorear constantemente la consistencia y calidad del concreto (atreves de pruebas de laboratorio en campo). Durante este tiempo, interactué directamente con el cliente (Dinfra-Cofimex), manteniendo comunicación con él para informarle los avances de la obra, reforzando el trabajo en equipo; así mismo, trabajé en conjunto con supervisión (SCT).

Como experiencia personal, fue trascendental el hecho de cubrir largas jornadas de trabajo (3:00 am - 11:00 pm), teniendo que adecuarme a climas extremos que repercutían directamente en el inicio de la producción, ya que cuando había temperaturas menores a 5°C, no se podía dar inicio a la producción; creando ésta situaciones un clima tenso de trabajo que me enseñó a desenvolverme y realizar mis actividades bajo fuerte presión.

5.2.- GENERALIDADES DEL TRAMO PALMILLAS - QUERÉTARO

En base a las experiencias anteriores, el adecuarme a las necesidades de éste proyecto fue más fácil, ya que existió la continuidad del mismo equipo de trabajo, por consiguiente la coordinación no tuvo mayor problema.

Este proyecto fue más grande que el anterior (alrededor de 250,000 m³) y en él al igual que en Pirámides-Tulancingo, desarrollé el mismo puesto (coordinador de obra), pero en ésta ocasión pude abarcar más campos ya que no sólo interactuaba con el área técnica, sino que tenía contacto directo con la planta y con logística.

Por las dimensiones e importancia del proyecto tuve la suerte de entrevistarme con personal del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (IMCYC), diversas universidades y diferentes empresas constructoras de América Latina, siendo yo quien daba a conocer los procesos y avances de la obra, permitiéndome la apertura hacia gente externa, así como adentrarme más en el campo de la construcción.

Independientemente de las experiencias y satisfacciones personales que tuve, de ésta obra aprendí muchas cosas ya que las exigencias del proyecto y de los clientes (Tribasa y Pyasa Ingenieros), eran mayores, y por lo tanto había que hacer uso de maquinaria más grande y equipo de transporte de mayor tecnología, además de la capacidad de producción diaria que era en promedio de 300 m³/hr, permitiendo terminar dentro del tiempo necesario (14 meses) que exigía la planeación del proyecto.

El tramo consistió de 66 km. que comprendían desde San Juan del Rio, Qro. hasta Querétaro.Qro., en sus dos sentidos, debido a la magnitud del proyecto se contó con la participación de Concretos Apasco, S.A. de C.V. con apoyo de las plantas dosificadoras de San Juan del Rio y Querétaro, esto me sirvió para irme involucrando directamente con la operación de éste tipo de plantas (plantas dosificadoras locales), para posteriormente incorporarme a una de ellas.

Los conocimientos que desarrollé en éste proyecto, son hasta hoy un arma importante en mi desarrollo profesional, ya que a diferencia de mis inicios en el medio, hoy cuento con una visión y criterio más objetivo hacia las dificultades que se me presentan en mis actividades diarias y tengo la satisfacción de que a pesar que actualmente estoy involucrado más administrativamente, puedo realizar actividades de campo con mayor seguridad.

CONCLUSIONES

En este trabajo presento en una forma sencilla, los criterios que se tomaron para definir los factores y variables más importantes que intervienen en el comportamiento de un pavimento de concreto hidráulico, en el cual su análisis fue difícil porque el estudio de la interacción de un elemento rígido (losa), estructuralmente bien definido con un medio de comportamiento elastoplástico (sub-base y terracerías) con una mayor variabilidad de sus propiedades, hacen que el análisis sea una técnica.

A la fecha, los trabajos de pavimentación se han terminado, el comportamiento inicial de esta estructura fue bueno y se espera que el pavimento de concreto cumpla eficientemente sus funciones durante la vida de servicio proyectada; en base a las experiencias que adquirí durante el desarrollo de estos proyectos, me atrevo a proponer algunos puntos que me parecen relevantes sobre la creación de carreteras de altas especificaciones:

- Conservar, modernizar y ampliar la infraestructura del transporte y las comunicaciones a fin de impulsar el crecimiento económico, la integración regional y el desarrollo social.
- Mejorar la calidad, acceso, eficiencia y cobertura de los servicios de transporte y comunicaciones, con el propósito de apoyar la competitividad y productividad de la economía.
- Contar con la infraestructura y los servicios de transporte y comunicaciones, con niveles de seguridad suficientes que permitan el tránsito de personas y bienes, a través de las vías generales de comunicación con seguridad y confianza.
- Estimular la participación de la iniciativa privada en el desarrollo de la infraestructura y fomentar la competencia en la prestación de los servicios.
- Dar prioridad a la asignación de los recursos presupuestales, a la terminación de proyectos en proceso y a la realización de nuevas obras que satisfagan criterios de rentabilidad social y económica, y que comuniquen a los principales centros de producción y consumo del país.

Los objetivos, estrategia y líneas de acción antes descritos permitirán desde mi punto de vista, una adecuada protección del patrimonio vial con que cuenta el país e incrementarán el aprovechamiento de la infraestructura existente, se generarán empleos, harán llegar los beneficios del transporte carretero a un mayor número de habitantes, y elevarán los niveles de seguridad de los usuarios. Todo ello se traducirá en la reducción de los costos del transporte, contribuirá a incrementar la productividad y competitividad de los demás actores de la economía, y facilitará la comunicación y acceso de las comunidades más aisladas y dispersas al proceso de integración nacional.

El desarrollo económico de México no se puede concebir sin un proceso de modernización de las comunicaciones y los transportes. Es por ello que nuestro país debe avanzar decididamente en la edificación de una infraestructura adecuada, que facilite la diversidad y calidad de los servicios y propicie mejores escenarios de desarrollo y bienestar.

Por mi parte, estoy muy agradecido con las oportunidades que me fueron brindadas al colaborar en los dos proyectos carreteros más importantes en su momento, sin embargo, no me parece que no exista una continuidad en la conclusión y desarrollo de este tipo de proyectos que además de aportar grandes oportunidades de crecimiento a nivel nacional, a nosotros que ingresamos en el medio, nos cierra oportunidades de crecimiento profesional.

REFERENCIAS DE INFORMACIÓN:

- Bibliográficas:

Olague, C. Castillo, S. Clemente, M. "Criterios para el Diseño y Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico para un Camino A4S". Diciembre 1995.

Rivera, R. "Función de los Aditivos en la Durabilidad del Concreto", Memoria del Seminario Internacional sobre Tecnología del Concreto: Durabilidad, Monterrey, N.L. México 1993.

Mendoza, C. "Evitando Agrietamientos se mejora la Durabilidad", Memoria del Seminario Internacional sobre Tecnología del Concreto: Durabilidad, Monterrey, N.L. México 1993.

Scorza, R. "Experiencias en las Carreteras y Vialidades recientemente construidas en México con Concreto Hidráulico". I Congreso Internacional de Vías Terrestres, Chihuahua Méx. 1997.

Salazar Rodriguez, A. "Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos", México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 1998.

Olivera Bustamante, F. "Estructuración de Vías Terrestres", México, CECSA.

- Normas:

Calidad del Cemento Portland...N.CMT.2.02.001.

Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico.. N.CMT.2.02.002.

Calidad del Agua para Concreto Hidráulico.. N.CMT.2.02.003.

Calidad de Aditivos Químicos para Concreto Hidráulico.. N.CMT.2.02.004.

Características del Concreto con Inclusor de Aire..M.MMP.2.02.053.

Muestreo de Concreto Hidráulico.. M.MMP.2.02.055.

Revenimiento del Concreto Fresco.. M.MMP.2.02.056.

Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto.. M.MMP.2.02.058.

Resistencia a la Tensión de Cilindros de Concreto.. M.MMP.2.02.059.

- **Definiciones**

Coeficiente de Fricción.- Es un coeficiente adimensional que expresa la oposición que ofrecen por medio de fuerzas tangenciales dos superficies puestas en contacto.

Indice de Perfil.- Mide la regularidad superficial en una determinada longitud de carretera.