



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD TICOMAN

**“PROCESOS CONSTRUCTIVOS
DEL PAVIMENTO”**

MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN AERONÁUTICA**

PRESENTA

RUBÉN ALFREDO TOVAR CRUZ

MEXICO, D.F. AGOSTO 2009

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO EN AERONÁUTICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN: MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL
DEBERÁ PRESENTAR: EL C. PASANTE:
TOVAR CRUZ RUBÉN ALFREDO

“PROCESOS CONSTRUCTIVOS DEL PAVIMENTO”

CAPÍTULO I
CAPÍTULO II

CAPÍTULO III
CAPÍTULO IV

CAPÍTULO V

CAPÍTULO VI
CAPÍTULO VII

RELACIÓN DE GRÁFICAS Y TABLAS E ILUSTRACIONES

INTRODUCCIÓN

RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO

RECONOCIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO DE

CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO

LOCALIZACION DE LOS BANCOS DE MATERIALES EN LA ZONA

CLASIFICACION DEL USO DE MAQUINARIA ADECUADA PARA CADA PROCESO

CONSTRUCTIVO

CONTROL DE CALIDAD DE LOS PROCESOS TERMINADOS A TRAVES DE

LABORATORIOS

ANÁLISIS DE LA CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO TRAMO ATITLALQUIA-TEXAS

EDO. DE HIDALGO

ANÁLISIS DE LA CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO TRAMO ELOXOCHITLAN-

JUAREZ, EDO. HIDALGO

CONCLUSIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GLOSARIO

México, DF., a 14 de agosto de 2009.

A S E S O R E S

M. EN C. MARIO ALFREDO BATTA
FONSECA



M. EN C. LUIS SANCHEZ ESTRADA

I. P. N.
ESCUELA SUPERIOR DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN
DIRECCIÓN
Vo. Bo.

ING. MIGUEL ALVAREZ MONTALVO
DIRECTOR

A Gloria mi esposa, por su amor y apoyo incondicionales.

A mi hijo Rubencito, por su sonrisa y fortaleza, que llevo siempre conmigo.

A mi hijo Alfredo, por ser mi orgullo y aliciente para seguir.

A mis Padres, Aurora y Manuel, mi agradecimiento perdurable.

A mi hermana Adelina, por su impulso para lograr mis metas.

INDICE

	Página
RELACION DE GRAFICAS Y TABLAS, FORMATOS E ILUSTRACIONES	4
INTRODUCCION	16
CAPITULO I RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO	23
CAPITULO II RECONOCIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO DE CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO	27
CAPITULO III LOCALIZACION DE LOS BANCOS DE MATERIALES EN LA ZONA	91
CAPITULO IV CLASIFICACION DEL USO DE MAQUINARIA ADECUADA PARA CADA PROCESO CONSTRUCTIVO	105
CAPITULO V CONTROL DE CALIDAD DE LOS PROCESOS TERMINADOS A TRAVES DE LABORATORIO	121
CAPITULO VI ANALISIS DE LA CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO ASFALTICO DEL C.E. TLAHUELILPAN-APAXCO, TRAMO: ATITALAQUIA-TEXAS, ESTADO DE HIDALGO	132
CAPITULO VII ANALISIS DE LA CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO ASFALTICO DEL C.E. ELOXOCHITLAN-TLAHUILTEPA, TRAMO: ELOXOCHITLAN-JUAREZ HGO., ESTADO DE HIDALGO.	172
CONCLUSIONES	194
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y DOCUMENTALES	199
GLOSARIO	207

RELACION DE TABLAS Y GRAFICAS

Capítulo	Número	Nombre	Página
II	Fig. 1	Sección transversal típica de un pavimento flexible en una sección en balcón	41
	Fig. 2	Prueba de Valor Relativo de Soporte	45
	Fig. 3	Informe de compactación de terracerías en terraplén	45
	Fig. 4	Informe de compactación de espesores de sub-base, base y revestimiento	46
	Fig. 5	Determinación del peso volumétrico en material seco y suelto, composición granulométrica	46
	Fig. 6	Características de carga de las aeronaves usuales	51
	Fig. 7	Conversión de vehículos a ejes equivalentes	52
	Fig. 8	Curvas de espesor del pavimento en función del V.R.S. para el avión Boeing 747	53
	Fig. 9	Influencia de un sistema dual en lo que se refiere a esfuerzos	54
	Fig. 10	Método gráfico para encontrar la carga de la rueda de diseño equivalente a un sistema dual	56
	Fig. 11	Gráfica para calcular el espesor de los pavimentos en carreteras	62
	Fig. 12	Curvas para calcular espesores en la porción central de las pistas de aterrizaje. Para las Plataformas, Pistas de Acceso y Cabezas de Pista, multiplicar 1.15 los espesores calculados con esta gráfica	63

Capítulo	Número	Nombre	Página
	Fig. 13	Zona de especificaciones granulométricas para materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas	68
	Fig. 14	Zona de especificación granulométrica para materiales pétreos que se empleen en concreto asfálticos	68
	Fig. 15	Cunetas en secciones de terraplén	72
	Fig. 16	Disposición más conveniente de la cuneta respecto al pavimento. Sección corte, sin subdrenaje	73
	Fig. 17	Instalaciones típicas de subdrenaje en aeropistas	75
	Fig. 17-A	Curvas de pistas de vuelo y de rodadura para grandes aviones	85
	Fig. 17-B	Estructura de un pavimento	86
VI	Fig. 18	Croquis de localización de la obra y de la línea de la red de conducción de agua potable	134
	Fig. 19	Informe de materiales para terracerías	136
	Fig. 20	Informe de materiales para terracerías	136
	Fig. 21	Informe de materiales para terracerías	137
	Fig. 22	Informe de laboratorio para materiales ensayados para terracerías y estabilización de suelos	137
	Fig. 23	Diseño final del pavimento. Figura de campo	138
	Fig. 24	Planta del muro hidrológico de contención	162
	Fig. 25	Corte lateral y detalle del muro hidrológico	163

Capítulo	Número	Nombre	Página
	Fig. 26	Cuadro descriptivo de las condiciones del sistema de conducción de agua potable	170
VII	Fig. 27	Cuadro de localización del camino	175
	Fig. 28	Diseño de las capas del pavimento del camino	178
	Fig. 29	Diseño estructural del pavimento	180
	Fig. 30	Diseño de ampliación del pavimento del camino	181
	Fig. 31	Informe del laboratorio de las características físicas del material de terracerías	185
	Fig. 32	Informe del laboratorio de los materiales para sub-base y base	186
	Fig. 33	Informe de terracerías a través de muestras tomadas del terreno natural del campo, donde se indican las características del material	187

RELACION DE FORMATOS

Capítulo	Número	Nombre	Página
V	V.1	Prueba Marshall para carpetas asfálticas	127
	V. 2	Prueba Marshall	128
	V. 3	Formato de tendido y planchado de concreto asfáltico	129
	V. 4	Control de riegos asfálticos	130
	V. 5	Reporte de concreto asfáltico	131

RELACION DE ILUSTRACIONES

Capítulo	Número	Nombre	Página
III	III.1	Banco de tepetate para subrasante	98
	III.2	Trituración y selección de materiales pétreos para sub-bases, bases y carpetas asfálticas	102
	III.3	Cribado y selección de materiales pétreos (gravas), para capas de sub-base, base y mezclas asfálticas, a través de bandas transportadoras	102
	III.4	Tractor sobre orugas aflojando material pétreo aprovechable para sub-bases, bases y carpetas	104
	III.5	Operación de abundar material en los bancos de materiales utilizables para terracerías	104
IV	IV.1	Tractor buldozer con ripper realizando cortes laterales	109
	IV.2	Traxcavo o cargador montado sobre orugas realizando cortes y acumulación de materiales para su posterior descarga en volteos	110
	IV.3	Traxcavo montado sobre neumáticos, para cortes, despalmes y para cargar materiales pétreos utilizables en los pavimentos	110
	IV.4	Traxcavo haciendo operaciones de carga	111
	IV.5	Motoconformadora utilizada para los procesos de construcción de las capas de subrasante, sub-base y base	112
	IV.6	Motoconformadora para el tendido de los materiales que forman las diferentes capas que constituyen el pavimento	112

Capítulo	Número	Nombre	Página
	IV.7	Motoconformadora mezclando los materiales que constituyen las diferentes capas del pavimento	113
	IV.8	Pipa de agua	113
	IV.9	Compactador neumático para carpetas asfálticas	114
	IV.10	Compactador neumático compactando carpeta asfáltica	115
	IV.11	Rodillo vibratorio para compactación de terracerías	115
	IV.12	Barredora mecánica; barriendo base hidráulica antes de aplicar el riego de impregnación	116
	IV.13	Petrolizadora aplicando el riego de impregnación	116
	IV.14	Petrolizadora, cuya función es aplicar los riegos asfálticos: de impregnación y de liga	117
	IV.15	Extendedora de asfalto o finisher, utilizada para tendido de carpeta asfáltica en caliente	117
	IV.16	Planta estacionaria para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente	118
	IV.17	Equipo especializado transportando, motoconformadora, barredora y vibrocompactador, utilizados en los procesos de construcción de pavimentos	119
	IV.18	Equipo especializado transportando motoconformadora, utilizada en los procesos constructivos de los pavimentos	120

Capítulo	Número	Nombre	Página
VI	VI.1	Motoconformadora excavando debajo de la subrasante en los hombros y escarificando para levantar la carpeta existente	140
	VI.1-A	Ruptura y disgregado de la carpeta existente para su futura utilización en el proceso.	141
	VI.2	Motoconformadora levantando capas subyacentes a la carpeta asfáltica existente y pipa de agua realizando riegos	141
	VI.3	Tendido del material para subrasante en uno de los hombros del camino con la motoconformadora	142
	VI.4	Compactación de la capa de subrasante en los hombros de la ampliación	143
	VI.5	Humedeciendo materiales de las terracerías a través del camión pipa con motobomba	144
	VI.6	Escarificado, disgregando el pavimento existente, mezclando y acamellonando	145
	VI.7	Estabilización del material con una capa de cal	145
	VI.8	Mezclado del material con incorporación de agua	146
	VI.9	Estabilización de la base, mezclado y acamellonado	147
	VI.10	Acamellonamiento, donde se puede ver el mezclado con cal para estabilizar la base, con motoconformadora, incorporando agua en pipa	148
	VI.11	Compactación de la base hidráulica, con rodillos lisos vibratorios. Se puede observar el cuneteo sobre el terreno, en el hombro del camino, como obra complementaria de drenaje.	148

Capítulo	Número	Nombre	Página
	VI.12	Barredora mecánica, efectuando el barrido sobre la base hidráulica terminada, para recibir el riego de impregnación	149
	VI.13	Base barrida y preparada para la aplicación del riego de impregnación con petrolizadora	149
	VI.14	Petrolizadora realizando riego de impregnación	150
	VI.15	Petrolizadora realizando riego de liga, donde se puede observar el riego de impregnación actuando y el trazo de la superficie de pavimentación	151
	VI.16	Realizando manteo con mezcla asfáltica sobre el riego de liga para recibir la carpeta asfáltica	152
	VI.17	Tendido y compactación de la mezcla asfáltica	153
	VI.18	Acción de tendido de carpeta asfáltica a través de la extendidora de asfalto y camión volteo	153
	VI.19	Compactación sobre carpeta con neumático, para cerrar poros	154
	VI.20	Riego de sello negro sobre carpeta y sello rojo en ambos hombros en acotamientos	155
	VI.21	Efectos causados dentro del proceso por lluvias	156
	VI.22	Efectos que causan las lluvias en el proceso constructivo, por no contar con un drenaje adecuado (cunetas)	156
	VI.23	Efectos de deterioro causado por lluvias en los hombros del camino	157

Capítulo	Número	Nombre	Página
	VI.24	Ampliación de las obras de drenaje necesarias para evitar destrucción en el camino	157
	VI.25	Proceso constructivo de obras de drenaje en el camino, a través de tubería de concreto reforzado	158
	VI.26	Proceso constructivo de cabezotes de mampostería en la ampliación de las alcantarillas en las obras de drenaje	158
	VI.27	Protegiendo el medio ambiente, colocando los materiales producto de las excavaciones, en lugares apropiados para su aprovechamiento	159
	VI.28	Perspectiva del camino terminado, con la señalización horizontal	159
	VI.29	Laboratorio levantando muestras para compactaciones	160
	VI.30	Laboratorio extrayendo corazones en la carpeta asfáltica para cálculo de espesor	160
	VI.31	Laboratorio haciendo el muestreo en la carpeta asfáltica, extrayendo corazones con máquina extractora	161
	VI.32	Se puede observar el muro de concreto hidrológico, construido de concreto armado y en forma diagonal 25° de deflexión y el retenido de aguas hacia el resto del camino, aguas abajo, logrando así, la efectividad proyectada	163
	VI.33	Excavando material fatigado de la falla geológica	164
	VI.34	Acarreo y colocación de material para piedraplen	164

Capítulo	Número	Nombre	Página
	VI.35	Tendido de material tamaño 10" para piedraplen	165
	VI.36	Espesor de piedraplen en falla geológica	165
	VI.37	Compactación de piedraplen en falla geológica	165
	VI.38	Nivel de piso firme en falla geológica	166
	VI.39	Efecto de la lluvia en la zona de la falla geológica	166
	VI.40	Abatimiento del nivel del agua en la falla geológica	167
	VI.41	Abatimiento o achique del agua con motobomba de la falla geológica	167
	VI.42	Capa de capilaridad formada con cal sobre piedraplen para evitar corriente de fluidos y el arrastre de finos	168
	VI.43	Formación de las capas superiores del piedraplen para alcanzar nivel óptimo de terracerías	168
	VI.44	Aplicando humedad a las capas superiores del piedraplen	169
	VI.45	Formación de las capas superiores del piedraplen con materiales seleccionados	169
	VI.46	Tendido del tubo para S.A.P. sobre la cama de arena	171
	VI.47	Perfil de la excavación del S.A.P. y tendido de tubería	171
VII	VII.1	Excavación lateral y debajo de la subrasante	188

Capítulo	Número	Nombre	Página
	VII.2	Excavación en corte lateral de ampliación de sección	188
	VII.3	Humedad óptima en la capa de subrasante	189
	VII.4	Banco de material para la subrasante	189
	VII.5	Banco de material para la base	189
	VII.6	Suministro de material para base hidráulica	190
	VII.7	Capa de base hidráulica	190
	VII.8	Base hidráulica y obra de drenaje, formación de cuneta de concreto hidráulico	190
	VII.9	Obra de drenaje, alcantarilla transversal de lámina acanalada inoxidable y cabezote	191
	VII.10	Barrido mecánico de la base	191
	VII.11	Riego de impregnación	191
	VII.12	Tendido del primer riego de sello 3-A	192
	VII.13	Segundo riego de sello 3-A	192
	VII.14	Superficie terminada del pavimento con dos riegos de sello	192

INTRODUCCION

ANTECEDENTES.

Durante el transcurso de la Carrera, descubrí mi inquietud por los pavimentos, lo consideré un tema importante y apasionante como parte integrante de las pistas, uno de los elementos fundamentales en los aeropuertos, es así como comencé a trabajar en la Dirección de Pavimentos del Departamento del Distrito Federal, en donde fui adquiriendo la práctica y el conocimiento de los procesos constructivos de los pavimentos, reconociendo los diferentes tipos de principios y factores que intervienen en el mismo, como el uso de la maquinaria adecuada, las propiedades de los materiales y su comportamiento, que se presentan en cada diseño de pavimento.

Como resultado de mi Experiencia Profesional en las múltiples obras en las que intervine y que me fueron encomendadas, tanto por la Administración Pública (Federal, Estatal y Municipal), así como obras de la Iniciativa Privada, aprendí a desarrollar diferentes procesos constructivos del pavimento en sitios como son: patios de maniobras, estacionamientos, plataformas industriales, una pista de rodaje en el Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México, carreteras y sus obras complementarias (obras de drenaje, alcantarillado, líneas de conducción, señalización informativa, restrictiva y correctiva, diurna y nocturna, entre otras). Cada una de las obras cuenta con un proyecto único, pero guardan una misma línea en el proceso constructivo bajo una metodología y técnica específica.

Desarrollé mis actividades en distintas compañías privadas, hasta llegar a constituir empresas propias, hasta la actualidad. En todas y en cada una de éstas, he ejecutado múltiples proyectos de procesos de construcción de pavimentos.

Asimismo, he participado en Exposiciones, Congresos y Cursos en diversos foros, referentes a la tecnología de los pavimentos, como en la CMIC y en la SCT. Al mismo tiempo, participé en el Coloquio Franco-Mexicano de conservación y mantenimiento de pavimentos, en donde tuve la oportunidad de intercambiar el conocimiento de los diferentes métodos y la vanguardia tecnológica del mantenimiento, conservación y construcción de los procesos de los pavimentos, predominantes en Europa y en el mundo; además participé activamente en la Cámara Mexicana de la industria de la Construcción y ocupé la Vicepresidencia,

Delegación Hidalgo; así mismo, Socio Fundador y Vicepresidente de la Asociación Nacional de Vías Terrestres, enriqueciendo mi experiencia durante treinta y tres años.

PLANTEAMIENTO.

Los pavimentos de cualquier vía terrestre, ya sea en una carretera o en una aeropista, constituyen la punta de lanza del desarrollo de un país al ser los principales medios de comunicación para el transporte tanto de personas como de las mercancías en México. Esto se refleja más ahora que hemos ingresado a un mercado globalizado y competitivo que ha obligado al sector del transporte aéreo y de tierra, a modernizarse y eficientarse utilizando tecnologías de punta.

El contar con una aeropista cuyo pavimento se encuentra en buen estado con un mantenimiento permanente, garantiza la buena funcionalidad y seguridad del transporte aéreo, de pasajeros y de carga. Así mismo, una carretera en buenas condiciones de rodamiento con su respectivo mantenimiento preventivo, permite al transporte terrestre estar a la vanguardia en el desarrollo del país.

Dentro de la Industria de la Construcción, la rama de la construcción de pavimentos es muy amplia, afecta e influye en todos los ámbitos de la vida productiva de un país. Donde se construye un pavimento, se construye el desarrollo, el futuro, debido a que agiliza, moderniza y hace efectivo el traslado tanto de mercancías como de personas, en una carretera o en un aeropuerto.

En Ingeniería Aeronáutica, existen diversos aspectos que se ven involucrados en ramas como son la aeronave, radiocomunicaciones, maniobras operativas, torre de control, servicios aeroportuarios, pasajeros y carga, entre otros; pero también es de vital importancia en el aeropuerto las pistas de aterrizaje y despegue de aeronaves, y más concretamente la parte en que están constituidas las pistas, que es el pavimento y específicamente los procesos constructivos del pavimento.

Debe reconocerse que los pavimentos que México necesita en sus aeropuertos y carreteras, no son hoy lo mismo que fueron en otras épocas. Concretando las ideas, tal como es el objetivo del presente trabajo, debe aceptarse un muy importante cambio de circunstancias

entre el momento actual y las épocas en que los aeropuertos y carreteras mexicanas empezaron a ser construidas y en qué buena parte se desarrollaron.

Los pavimentos nacionales comenzaron a formarse en el sentido actual a partir de la época 1920-1930 y creció a un ritmo relativamente moderado hasta 1950. Entre 1950 y 1970, la modernización fue objeto de un desarrollo muy importante y a partir de 1980 continuó creciendo significativamente, pero probablemente con un gradiente menor, si bien en los últimos años, en el período 1990-1995 tuvo lugar la incorporación de una modernidad que actualmente continua aceleradamente al incorporar nuevas tecnologías.

En el desarrollo de los pavimentos son discernibles tres etapas relativamente bien diferenciadas. En un principio, la motivación fundamental de la planeación fue, conscientemente o por mandato inapelable de la realidad nacional, la integración sociopolítica de la nación. Se construyeron los enlaces de comunicación que unen la capital nacional con las capitales estatales así como con las diferentes estaciones aeroportuarias del mundo. De esta manera se logró una integración nacional y mundial que garantizó la unidad económica, social y política, a la vez que se tendieron las condiciones necesarias para integrar a nuestro país de manera interna y externa, logrando una homogeneización de nuestra nación.

Es de esperar que en el futuro una parte importante del esfuerzo constructivo nacional en el área de los pavimentos en aeropuertos y carreteras se dirija principalmente a lograr el tránsito expedito y rápido de bienes y mercancías con la decidida meta de abatir en todo lo que vaya resultando posible los costos operativos del transporte nacional, para respaldar el desarrollo económico y la generación y distribución de productos y de riqueza y de oportunidades por todas partes. Independientemente de estas metas, parece evidente que habrá de continuar el desarrollo en la red de comunicaciones.

Obviamente muchos de los cambios anteriores fueron debidos a y a la vez produjeron, lo que podría considerarse un cambio muy importante en el transporte nacional y sus características. En todos esos años la nación experimentó una transformación económica y estructural muy significativa que fue haciendo aparecer una infraestructura industrial creciente hasta alcanzar niveles importantes, de manera que una economía relativamente

domestica se fue convirtiendo en una economía necesitada de recurrir a la exportación de bienes para poder seguir su desarrollo.

Lo anterior equivale a decir que el transporte aéreo y terrestre como fenómeno económico fue adquiriendo una importancia cada vez mayor, de manera que podría decirse que una actividad que hasta hace relativamente poco se centraba en comunicar, hoy se ha transformado en un quehacer mucho más complejo y que, además, se centra en la necesidad perentoria de comunicar en condiciones económicas competitivas y ello dentro de un mundo en donde toda la actividad de transporte evoluciona rápidamente, siempre con la vista fija en el logro de un transporte cada vez más barato, más rápido y sobre todo más seguro.

Un mercado internacional tan altamente competido como el que hoy existe, resulta menos accesible si se llega a él con un transporte relativamente más costoso que el que puedan utilizar los competidores comerciales. Es así que de esta manera el costo del transporte doméstico pasa a ser un eslabón fundamental en la cadena del comercio internacional.

Las transformaciones anteriores sucedieron al mismo tiempo que se iban desarrollando cambios no menos importantes en los vehículos aéreos y carreteros utilizados. Si en 1950 el vehículo más pesado que recorría las carreteras nacionales, podía llegar a 7 u 8 toneladas, en la actualidad es usual ver circular unidades cuyo peso bruto supera las 60 toneladas. Así mismo, las aeronaves que circulaban en 1950 no son las mismas que circulan hoy en día en las pistas de los aeropuertos del mundo ya que su peso y capacidad de carga se han duplicado y hasta triplicado, y observamos los cambios fundamentales en la longitud de las pistas, sus anchos, las distancias entre ellas, las señalizaciones preventivas y restrictivas, diurnas y nocturnas y las condiciones precisamente de los pavimentos actuales, como vemos, esta multiplicación ocurrió no solo en peso sino también en número.

Estos hechos para los que no puede verse un futuro con tendencia a aminorar, sino probablemente lo contrario, conducen a condiciones radicalmente nuevas y mucho más onerosas en lo que se refiere al comportamiento de los pavimentos. Condiciones que han de ser tomadas en cuenta en los diseños y en la construcción de las secciones estructurales de los pavimentos que se construyan en el futuro, en los proyectos de refuerzo que se hacen

para adoptar las pistas aéreas y carreteras existentes a las nuevas condiciones de conservación normal de todas.

La antigüedad de la red básica de aeropistas y carreteras mexicanas presenta, en efecto, hoy una situación que viene exigiendo y así seguirá, importantes inversiones para poner lo existente a tono de lo que exige el presente y exigirá el futuro.

Es un homenaje a la visión de los planeadores que antecedieron a los tiempos actuales, el constatar que la red básica aeroportuaria y carretera , y sus pavimentos por ellos erigidos, con un criterio sociopolítico, sigue formando hoy parte sobresaliente de la red básica actual, pero a la vez, este hecho trae consigo una importante carga económica pues hace que una fracción muy importante de la red básica de México sea también la más antigua; vale decir, la que se desarrollo en condiciones diferentes a las actuales.

Los vehículos de antaño ejercían esfuerzos superficiales sobre los pavimentos menores que los de hoy, puesto que los reglamentos al respecto han tenido que ir reconociendo la situación de facto del desarrollo de los vehículos de carga en dimensiones y peso bruto. A la vez aquellos esfuerzos superficiales disminuían mucho más rápidamente con la profundidad, de manera que en un pavimento típico de entonces era relativamente exigida una capa superior del orden de 30 o 40 cm de espesor. Los vehículos actuales con esfuerzos mayores, duplican esta propiedad de influencia.

Como consecuencia de aquella situación, los pavimentos se construían frecuentemente en México con materiales que hoy no podemos sino considerar inadecuados, y aun con ellos se cubrían pequeños espesores, bajo los cuales aparecían suelos naturales, generalmente producto de préstamo lateral o local en terrenos inmediatamente aledaños al sitio de construcción. Los materiales eran frecuentemente tan endebles que se consideraba que el agua y sus efectos eran los enemigos de los ingenieros, pues convertía en altamente deformables las secciones estructurales. Efectivamente, las aeropistas y las carreteras se deformaban y tenían baches todo lo cual influían fatalmente en los costos de operación, pero la operación era escasa y se trataba de conseguir comunicación dentro de una economía nacional relativamente de bajo nivel.

Obviamente muchos de esos pavimentos tienen hoy funciones mucho menos conectadas con el transporte nacional más importante, pues en buena parte han sido sustituidos por pavimentos más modernos; en otros casos, los pavimentos antiguos han sido corregidos con refuerzos estructurales y solo hacia arriba y en tal caso, presentan hoy un serio y recurrente problema de conservación, pues los modernos vehículos envían sus efectos a las capas profundas no modernizadas, haciendo poco durables los añadidos superiores.

El gran crecimiento del transporte nacional en número y peso de los vehículos presenta entonces nuevas condiciones, que han de ser tomadas en cuenta por los actuales diseñadores y constructores de pavimentos asfálticos.

Es en este panorama histórico y conceptual en el que se ha pensado que un trabajo como el presente pudiera tener utilidad, al expresar la realidad del ambiente en que se desarrolla la construcción de nuevos pavimentos y la conservación de los existentes, concretamente los procesos constructivos del pavimento, en donde he desarrollado mi experiencia profesional por más de treinta años y el que motiva este trabajo.

C A P I T U L O I

RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO

Una vez que nos ha sido asignada la obra de construcción del pavimento y superado el aspecto administrativo, como consecuencia prosigue el aspecto técnico.

Es condicionante por la parte contratante obligarnos a reconocer el sitio de la obra. Al mismo tiempo, se nos hace entrega oficial del proyecto, el cual contiene en una de sus partes, el estudio de pavimentación de la obra (Estudio de Mecánica de Suelos), planos, catálogo de conceptos, volumetría de la obra y precios unitarios autorizados.

Cabe mencionar que para desarrollar la obra debemos de programar todo un proceso constructivo, es decir, debemos de aplicar los conceptos en forma consecutiva, pero a la vez fijar una estrategia para poder traslapar los conceptos, es decir, al desarrollar un concepto se pueden iniciar otros a la vez, lo cual está supeditado a que lo permita el proyecto.

Al llegar al sitio debemos de contar con un programa de obra en forma previa, realizado normalmente de común acuerdo por las partes, en donde se fija el tiempo de inicio y el término de los trabajos; es necesario contar con una bitácora de obra para darle seguimiento ordenado a la ejecución de los trabajos y reparar cualquier diferencia de interpretación.

Lo primero a lo que nos abocamos es a ordenar al topógrafo y a la brigada, a reconocer el trazo del camino, disponiendo así del proyecto geométrico, que en otras palabras quiere decir, dibujar en el terreno natural, los cortes, los niveles y las compensaciones de las terracerías existentes, según lo que marcan los planos del proyecto, lo cual se hace a través de referencias físicas como las estacas, y así mismo, señalando los cadenamientos que marca el proyecto, para reconocer los puntos, que se fijan normalmente cada 20 metros en ambos hombros y el centro del camino y que el topógrafo deberá referenciar cada uno de los puntos, donde le sea posible, (puede realizarlo en un poste, en una piedra, en un árbol, etc.).

No dejando pasar de largo prever la ubicación de los bancos de materiales a utilizar en las terracerías que nos han sido fijados por la supervisión en el proyecto.

Es trascendente y básico reconocer las condiciones meteorológicas del lugar, para tomar las medidas precautorias para no entorpecer los procesos constructivos.

Seguir y acatar las especificaciones del proyecto de construcción del pavimento, implica describir los diferentes elementos con que se cuenta y éstos fundamentalmente son fijados en el estudio de mecánica de suelos del proyecto. En forma general, estas especificaciones las emite un laboratorio de análisis de materiales; en dichos estudios aparte de los planos y perfiles del terreno, se analizan a través de muestras y ensayos, los siguientes parámetros:

a).- El cálculo del valor relativo de soporte del terreno natural, así como de la superficie descubierta y las capas que componen el pavimento.

b).- Medición de la plasticidad del material del terreno natural.

c).- Composición granulométrica.

d).- Determinación de pesos volumétricos.

e).- Determinación de humedades óptima y natural.

Por supuesto, a estos parámetros se suman otros dependiendo el tipo de terreno, según su problemática de la calidad de sus materiales.

El común denominador del diseño de un pavimento, se funda primero en la calidad del tipo de subsuelo existente, mediante el cálculo del valor relativo de soporte, VRS; y segundo, el cálculo de la carga que se le aplicará al pavimento, a través de un diseño estructural tipo multicapa.

Por cuestiones de costos, los materiales que se utilizarán en la estructura del pavimento son los normalmente utilizados a menor distancia del sitio de la obra, que han sido analizados y autorizados previamente por el laboratorio.

En el objetivo de este trabajo, no nos enfocaremos a la descripción precisa del diseño y muestreo de los materiales, ya que no es la finalidad del mismo. Abordaré el proceso constructivo del pavimento, que en la práctica es lo que más se asimila, absorbe y enriquece los conocimientos y la experiencia profesional.

Dicho todo lo anterior, el procedimiento y la metodología de la construcción de un pavimento, que ha cumplido previamente con un proyecto y un diseño, se desarrolla con la siguiente lista de conceptos en manera progresiva, y que como mencioné con antelación, pueden ejecutarse en forma continua uno de otro y así mismo, traslaparse.

Una vez reconocido el sitio de construcción del pavimento y sus especificaciones del diseño del proyecto, se procede a desarrollar el listado de conceptos más significativos:

- a.- Trazo y nivelación del terreno con topografía a través del proyecto geométrico.
- b.- Despalme o desmonte del terreno natural, desperdiciando el material.
- c.- Cortes laterales, o abajo de la subrasante para alojar la estructura multicapa del pavimento.
- d.- Estabilización con cal hidratada para consolidar el terreno.
- e.- Compactación vibratoria de la subrasante (capa más inferior de la estructura), con incorporación de agua requerida según proyecto.
- f.- Capa de subrasante formada normalmente con materiales seleccionados de bancos de materiales próximos, como son los materiales arcillosos y limosos.
- g.- Capa de sub-base y base hidráulica constituida con materiales seleccionados de bancos aledaños como pueden ser grava cementada y controlada.
- h.- Carpetas asfálticas en caliente o en frío de plantas de asfalto de la zona.
- i.- Drenaje y subdrenaje, para el vertido eficiente de aguas pluviales.
- j.- Señalización horizontal y vertical, restrictiva, informativa y preventiva.

C A P I T U L O I I

**RECONOCIMIENTO DE LAS
ESPECIFICACIONES DEL
PROYECTO DE
CONSTRUCCION
DEL PAVIMENTO**

Atrás de las especificaciones del proyecto de construcción de un pavimento, está un campo amplísimo que comprende desde las características del sitio donde se va a construir, hasta los elementos y propiedades de los materiales que se utilizarán en el cuerpo del pavimento y que además se encuentren relativamente cerca del perímetro de utilización. No quisiera profundizar más allá de este tema tan amplio, sino más bien, tratar de forma concreta estos fundamentos que caracterizan un proceso de construcción del pavimento.

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados comprendida(s) entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, así como la señalización adecuada, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial y aeroportuaria, que hace posible el tránsito expedito de los vehículos y aeronaves con la comodidad, seguridad y economía previstas por el proyecto. La estructura o disposición de los elementos que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades, de tal suerte que puede estar formado por una sola capa o, más comúnmente por varias, y a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, sometidos a muy diversos tratamientos; su superficie de rodamiento propiamente dicha, puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materiales pétreos compactos. De hecho, la actual tecnología contempla una gama muy diversa de secciones estructurales diferentes y elegir la más apropiada para las condiciones específicas del caso que se trate, no es, por cierto, la tarea más sencilla a que se enfrenta el especialista.

De un modo bastante arbitrario y con fines fundamentales prácticos, los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos.

Sin embargo, la rigidez o flexibilidad que un pavimento exhibe, no es fácil de definir tan adecuadamente como para permitir una diferenciación precisa entre uno y otro; es hasta cierto punto materia de juicio al precisar qué tan rígido puede ser un pavimento flexible o

qué tan flexible puede llegar a ser un pavimento rígido.

Aun cuando de lo anterior puede desprenderse que los términos empleados para distinguir un pavimento de otro no son del todo adecuados, su uso ha sido tan ampliamente difundido que se considera conveniente conservarlos. Por otra parte, la cuestión resulta un tanto intrascendente si se toma en cuenta que muy rara vez surgirá por ella una confusión importante en la comunicación práctica. El hecho es que los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de cómo se estructuran esos materiales y no por la forma en cómo distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidos por los vehículos a las capas inferiores lo que quizá constituirá un criterio de clasificación más acertado.

Para los fines de este trabajo, se considerará un pavimento rígido aquél cuyo elemento fundamental resistente sea una losa de concreto hidráulico; en cualquier otro caso, el pavimento se considerará flexible. Tan arbitraria clasificación concuerda bastante con la generalmente aceptada. Mi experiencia profesional se ha enfocado a la construcción de pavimentos flexibles y haré más elocuentes mis conceptos en ésta división.

Es evidente que la superficie terrestre no ofrece jamás las condiciones de rodamiento que exigen los modernos medios de transporte. Ello es cierto aunque se dé al adjetivo moderno un alcance muy retroactivo en el tiempo. A medida que los vehículos evolucionaron en peso, velocidad, comodidad y autonomía, se fue creando la necesidad de proporcionarles una pista de circulación con unas condiciones de curvatura, pendiente, visibilidad, sección transversal, uniformidad, textura, etcétera, apropiadas a una demanda de operación cada vez más exigente. Las ideas anteriores condujeron a la construcción de terracerías y condicionaron su evolución. Obviamente la superficie de las terracerías debería ofrecer condiciones de rodamiento apropiadas, confortables y seguras al volumen creciente de vehículos cada vez más rápidos y pesados.

Por razones económicas que saltan a la vista en la construcción de las terracerías se impone el empleo de los materiales inmediatos a ellas (bancos de materiales cercanos); esto llevó desde un principio a la utilización de suelos y fragmentos de roca. Las superficies de rodamiento obtenidas directamente como remate de las terracerías, formadas solo por materiales naturales pétreos, solo resuelven los problemas derivados de la presencia del tránsito moderno si este es realmente muy pequeño. Aún seleccionado los materiales térreos

o los fragmentos de roca más apropiados y aun tratándolos mecánicamente (compactación) no se logrará una superficie de rodamiento adecuada cuando los volúmenes de tránsito circulante sean ya de regular intensidad; los materiales naturales utilizados como tales pueden proporcionar condiciones adecuadas de operación durante un cierto tiempo, pero no se ha logrado hasta hoy, dar a tales condiciones la debida permanencia cuando los volúmenes de tránsito excedan de los mínimos a considerar, los cuales, por otra parte abundan bastante en muchos países de desarrollo industrial aun limitado.

En consecuencia debe establecerse claramente una primera distinción en lo que a la consideración de la superficie de rodamiento se refiere. En caminos de muy escaso tránsito (a veces se ha dicho de menos de 200 vehículos diarios), las razones económicas impondrán el uso de superficies de rodamiento de bajo requerimiento, o baja especificación, formadas por fragmentos de roca o mezclas de éstos con suelos (revestimientos), bien seleccionados y compactados; será posible así obtener una superficie de bajo costo que pueda proporcionar durante algún tiempo condiciones apropiados de transitabilidad, con tal de que la reconocida susceptibilidad de estos materiales a la acción del agua se considere debidamente en otros aspectos del proyecto, como podrían ser la pendiente longitudinal y transversal (aeropistas), la curvatura, el drenaje superficial, etc.

Convendrá repetir que muchos países en desarrollo, los caminos de muy bajo tránsito son regla, antes que excepción, por lo que la utilización de soluciones como la anterior debe estar constantemente presente en la mente del proyectista.

Este tipo de soluciones puede conducir al establecimiento de una red de transporte adecuada a las verdaderas necesidades sociales y económicas, con tal de que se cumpla un único requisito: que el nivel tecnológico con que se apliquen, sea el más elevado posible, pues es obvio que las soluciones baratas quedan menos protegidas, que otras que formen parte de proyectos de muy elevado costo.

Desgraciadamente suele suceder lo contrario y el ingeniero dedica mayor atención técnica a las obras de grandes autopistas y aeropistas, que a los modestos, con la consecuencia de que se desacrediten sin motivo valedero muchas soluciones simples con las que, en los casos apropiados, podrían lograrse grandes ahorros de inversión.

Cuando el nivel de tránsito empieza a tener importancia, se hace imperativo recubrir la superficie de las terracerías con una capa que cumpla los siguientes requisitos:

- a.- Ser estable ante los agentes del intemperismo.
- b.- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- c.- Tener textura apropiada al rodamiento.
- d.- Ser durable.
- e.-Tener condiciones adecuadas en lo referente a permeabilidad.
- f.- Ser segura, anteponiéndose al factor económico.

Los requisitos anteriores definen una capa de material granular de muy buena calidad, que no es posible obtener en forma del todo natural y cuyas partículas deben estar inclusive ligadas de algún modo artificial. Los suelos naturales cohesivos nunca podrían soportar la acción directa y prolongada del tránsito; los materiales granulares, tal como se encuentran a pesar de su mayor resistencia potencial, ofrecerían una superficie inestable por falta de coherencia.

La capa de que se habla resulta entonces necesariamente de mayor costo que el material de las terracerías y esto hace que los factores económicos adquieran en ella un papel relevante sin descuidar el factor seguridad. En principio, el problema económico se resolvería con una capa de rodamiento muy cara, pero muy delgada, esta capa podría cubrir también los requisitos de estabilidad, duración, textura y permeabilidad, pero por su pequeño espesor se transmitirían a la terracería niveles de esfuerzos muy altos que perjudicarían pronto a la propia superficie de rodamiento por falta del requerido apoyo. Hay entonces intereses opuestos que es preciso conciliar y dicha conciliación ha tratado de lograrse siguiendo dos líneas de conducta diferentes:

- 1.- La capa de rodamiento se construye con suficiente espesor y de una calidad tal que se logra que los esfuerzos transmitidos a la terracería sean compatibles con la calidad de ésta.

Esta línea de acción, lleva a los pavimentos rígidos, con losa de concreto hidráulico. Cualquier pequeña cedencia permanente de los suelos bajo la losa, es absorbida por la resistencia de la misma a la tensión.

2.- La superficie de rodamiento se logra mediante una carpeta bituminosa (concreto asfáltico) relativamente delgada, de alto costo y de alta calidad, pero entre ella y las terracerías se interpone un sistema de varias capas de materiales seleccionados cuya calidad, por lo común, va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos producidos por la carga, que siguen una ley en ese mismo sentido decreciente. En rigor el problema de dimensionamiento consistiría en principio en hacer variar el espesor y la calidad de los materiales empleados en cada capa de manera que coincidan con las dos leyes. Este es el orden de ideas que conduce a los pavimentos flexibles.

De otra forma, a igualdad de otros factores, puede decirse que el espesor del pavimento depende fundamentalmente del material de la terracería, que constituye su apoyo.

También puede convenir como un tratamiento posterior, utilizar en las capas de pavimento, materiales cuya resistencia a la tensión sea alta, añadiendo a los materiales térreos porcentajes apropiados de un aglutinante, como el cemento, el asfalto o la cal, logrando así una estabilización del propio material que enriquece la capacidad de carga, obteniendo capas así tratadas con una capacidad de distribución de esfuerzos, teniendo grandes ahorros en el espesor.

Estas soluciones a base de capas semirrígidas de suelo-cemento, suelo-asfalto, etc., constituyen un tercer tipo de pavimentos cuyo uso actual continúa extendiéndose. Sin embargo, la tónica común suele ser encasillar a estos pavimentos semirrígidos en el grupo de los pavimentos flexibles.

De lo expuesto parece desprenderse la idea de que el problema de la estructuración de un pavimento es claro y sencillo, y lo es en efecto, en lo que se refiere al planteamiento básico; sin embargo, en el momento en que los criterios anteriores tratan de ajustarse a cualquier caso particular, surge tan gran número de incertidumbres, que el panorama se oscurece y se dificulta mucho la definición de la óptima norma de conducta.

Las dificultades de orden específico son de varias clases. En primer lugar, *no existe una solución teórica rigurosa al problema de los pavimentos*. La distribución de esfuerzos y de deformaciones

no puede calcularse en un sistema multicapa constituido por materiales térreos y sujeto a la acción dinámica de las cargas impuestas por el tránsito.

Existen soluciones teóricas a este problema y más adelante haremos referencia a alguna de ellas, pero estas soluciones se han edificado sobre hipótesis simplificadoras que no pueden resultar satisfactorias para quien tenga experiencia en el trato de materiales y de comportamiento de pavimentos; tal es por ejemplo, el caso de las soluciones que consideran al sistema formado por capas homogéneas, isótropas y linealmente elásticas. Aun aceptando la validez de tales hipótesis y pasando por encima del hecho innegable de que con el uso de tales teorías el proyecto de pavimentos se complica demasiado desde el punto de vista matemático al grado de escapar a las posibilidades de muchos ingenieros experimentados, queda en pie el hecho de que la construcción de los pavimentos no puede hacerse con el refinamiento que una aplicación razonada de tales teorías exigiría; no sería juicioso emplear para el proyecto teorías muy detalladas y complejas, si los procesos de construcción de un pavimento han de hacerse de tal modo que no pueda garantizarse suficientemente el que se alcancen en obra las refinadas condiciones del proyecto.

En segundo lugar, están las insuperables dificultades que actualmente presenta el valorar de un modo razonable la acción de los agentes naturales del clima, a los que todo pavimento queda invariablemente e indefinidamente expuesto.

En tercer lugar, conviene mencionar las complicaciones que introducen el problema del proyecto, el gran número de variantes posibles en los criterios a adoptar. En un caso dado, se ofrecen al ingeniero multitud de materiales, unos más lejos, otros más cerca, con propiedades diferentes, que se traducen en ventajas e inconvenientes concretos. A ello se suma, la extensa posibilidad de jugar con los espesores de las diferentes capas; un mayor espesor de un material barato, de peor calidad, puede sustituir, incluso con ventaja, a un menor espesor de un mejor material, más caro. Las reglas de este juego, de por sí variado y complejo, se complican al considerar los límites aceptados de calidad de materiales, además los cuales no convendrá ir, independientemente del espesor utilizado, que varían de una capa a otra, de un clima a otro, de una topografía a otra.

La carga que ha de soportar el pavimento y cuyos efectos, junto con los climáticos, deben quedar en niveles no destructivos; pues bien pocas solicitaciones son más desconocidas y tienen sus efectos peor estudiados. La carga varía en intensidad y número de vehículos, en calidad y peso de

los mismos, y es una carga móvil, repetida, causante de esfuerzos transitorios, deformaciones transitorias y permanentes, de efectos especiales relativamente poco conocidas, como la fatiga, el revote elástico, etc., todo lo cual complica, al grado de hacer ilusorio, todo intento de definir en un pavimento una condición de cargas exteriores, en el sentido en que puede llegarse a tal definición en otros campos de las estructuras.

Incuestionablemente existe una quinta consideración que complica mucho los criterios a utilizar en el diseño de pavimentos y es la enorme variedad de circunstancias en que tal proyecto ha de efectuarse. El proyecto del pavimento de una gran autopista o aeropista, impone criterios que han de tener sustanciales diferencias respecto al diseño de un pavimento de una carretera con bajo aforo vehicular y de una aeropista con bajas operaciones de vuelo. Este tipo de variantes se criterio es importantísimo, independientemente de que se tenga la sensación de que no siempre es tomado en cuenta en su debida proporción.

Los factores económicos de costo, de vida útil a considerar, definición de consideraciones aceptables de servicio o de condiciones que ameriten compostura o reconstrucción y mantenimiento mal atendido, constituyen un complejo trasfondo en todo el panorama de decisión conectado con el proyecto y la construcción de los pavimentos. Todos los criterios y variantes posibles han de examinarse a fin de cuentas dentro de un panorama económico que trascienda la consideración simplista de lo que es más barato o más caro, para analizar toda la gama de factores sociales conectados con la inversión pública y todas las consideraciones de grado y calidad de servicio.

Las siguientes pueden considerarse las características fundamentales de un pavimento flexible, considerado como un conjunto:

- 1) La resistencia estructural.
- 2) La deformabilidad.

- 3) La durabilidad.
- 4) El costo
- 5) Los requerimientos de conservación.
- 6) La funcionalidad.

1).La Resistencia Estructural

La primera condición que debe cumplir el pavimento, es soportar las cargas impuestas por el tráfico dentro del nivel de deterioro y paulatina destrucción previstos por el proyecto. Las cargas del tráfico producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura. La metodología teórica para el análisis de resistencia de los pavimentos, es proporcionada por los estudios de la Mecánica de Suelos y sabemos que en ese campo, las teorías de falla de mayor aceptación son las del esfuerzo cortante; como consecuencia, en el estudio de los pavimentos flexibles suele considerarse a los esfuerzos cortantes, la principal causa de falla desde el punto de vista estructural; correspondientemente, la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos resulta ser la propiedad fundamental.

Además de los esfuerzos cortantes actúan en los pavimentos esfuerzos adicionales producidos por la aceleración y frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión que se desarrollan en los niveles superiores de la estructura, a cierta distancia del área cargada, cuando ésta se deforma verticalmente hacia abajo. Esto quiere decir que el problema de la resistencia se relaciona con la estructura de la calidad de los materiales del pavimento, pues aunque los materiales de la terracería sean de peor calidad, el espesor protector que el propio pavimento representa hace que los esfuerzos que llegan a aquellos niveles, alcancen valores inferiores a la capacidad de carga a la falla de los suelos. Esto quiere decir que muchas de las fallas que actualmente se consideran en el pavimento, se fraguan en la terracería, por lo que deberá de analizarse la característica de los materiales en un futuro próximo. Tal análisis deberá conducirse a una mayor exigencia en la calidad de los materiales de las terracerías, de sus tratamientos, de su protección contra el agua y al rechazo de un mayor número de materiales inadecuados para su uso en la construcción de vías terrestres.

2).La Deformabilidad.

En algunos aspectos importantes, el problema de la deformabilidad de los pavimentos, tiene un planteamiento opuesto al de la resistencia. Con respecto a la deformación, dada la naturaleza de los materiales que forman la capa del pavimento, la deformabilidad suele crecer mucho hacia abajo y la terracería es mucho más deformable que el pavimento propiamente dicho y dentro de éste, la subrasante, capa inferior, es mucho más deformable que las capas superiores.

Desde este punto de vista, la deformabilidad interesa sobre todo a niveles relativamente profundos, pues es más o menos fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables aun para los altos esfuerzos que en ellas actúan.

En los pavimentos las deformaciones interesan como es usual en la ingeniería, desde dos puntos de vista. Por un lado, porque las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla y, por otro, porque es sabido que un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural propiamente dicho.

Las cargas del tráfico producen en el pavimento deformaciones de varias clases. Las elásticas son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas dentro de la tecnología, a aquéllas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora, tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles. Paradójicamente, este proceso suele ir acompañado de una densificación de los materiales de manera que el pavimento fallado puede ser más resistente que el original.

Los materiales que tienen fuertes deformaciones elásticas bajo carga y los más peligrosos, suelen ser los de origen volcánico.

Es así que la deformabilidad de los pavimentos flexibles, es el punto básico a considerar en los métodos de diseño se concentran a mantener los índices en límites tolerables. El establecer estos límites es más complejo de lo que pudiera pensarse y las normas que se fijan serán en base a la experiencia del grupo de ingenieros.

Cabe mencionar que este fenómeno es muy difícil de medirlo bajo la carga que se aplica. Una forma de hacerlo es obteniendo su módulo de deformación por medio de algunas de las diversas pruebas de campo que hoy existen y que pueden realizarse sobre terraplenes. Estas pruebas pueden ser de placa con un deformómetro tipo Benkelman, con algún aparato dinámico, tipo Dynaflect o con deformómetros sónicos o eléctricos. También se pueden intentar medir en el laboratorio, a través de la prueba triaxial de Kansas, encontrándose con los inconvenientes que tener que realizar un experimento poco representativo, pues es difícil producir en el laboratorio las condiciones críticas del campo y superar los problemas de escala.

3).La durabilidad

Las prácticas ligadas a la propiedad de la durabilidad de un pavimento flexible son grandes y difíciles de tratar, aún al nivel más general. Será difícil definir cuál es la durabilidad deseable como propiedad de un material. Por supuesto, que ésta está ligada a una serie de factores económicos y sociales de la propia carretera; en una obra modesta, la duración del pavimento puede ser mucho menor que la de la carretera, con tal de que la serie de reconstrucciones que entonces se requieran valgan menos que el costo inicial de un pavimento mucho más durable, más el valor que pueda darse a las interrupciones de servicio que las reconstrucciones del lugar; por el contrario en obras de muy alto tránsito y gran importancia económica, se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

Debido a lo anterior, surgen muchas dudas de carácter práctico para lograrla; ya hemos mencionado el efecto del clima y del tránsito que dista de estar bien establecido, de manera que su influencia en la vida del pavimento, no puede definirse con exactitud. Los pavimentos pueden estar expuestos durante su vida útil a circunstancias de orden extraordinario, tales como lluvias ciclónicas, inundaciones, terremotos, etc.

Resulta aún más complicado tratar de establecer la resistencia deseable de un pavimento ante este tipo de eventos o las normas de proyecto que han de implantarse para alcanzar una determinada duración.

Es por esto que he aprendido en la práctica que ningún método de diseño que tome en cuenta los requisitos de durabilidad de un modo cuantitativo o racional, puede llegar a ser

efectivo.

4).El Costo.

En la Ingeniería de Pavimentos existe un binomio entre la satisfacción de requisitos de resistencia y estabilidad, por un lado y el costo por otro. Por eso un diseño exitoso será el que llegue a satisfacer los necesarios requerimientos del servicio a costo mínimo y que para lograr este equilibrio tendrá que seguirse una gran cantidad de líneas de conducta y que precisamente de aquí emana uno de los aspectos de diseño más inciertos y de mayor demanda de criterio.

Es así como la primera diferencia se tiene al elegir el tipo de pavimento a emplearse en cada caso; los pavimentos rígidos, flexibles o semirrígidos son ventajosos o inconvenientes según sea el caso, hablando de diferenciación.

Los pavimentos rígidos por lo general demandan poco gasto de conservación, así como que se deterioran menos, pero su costo de construcción es muy alto y están sujetos a la disponibilidad de los materiales necesarios y a un equipo de construcción especializado.

Los pavimentos flexibles requieren menor inversión inicial, aunque no necesariamente, pero sí una conservación más costosa si ésta se realiza en forma correctiva y no de forma preventiva.

Los pavimentos semirrígidos pueden constituir soluciones muy económicas cuando los materiales de que se dispone para la construcción los hacen convenientes, pues permiten muy apreciables reducciones en los espesores.

No hay reglas fijas que permitan establecer el tipo de pavimento conveniente en cada caso y el punto deberá establecerse en cada situación particular.

De las normas anteriores se permite establecer que los pavimentos rígidos serán especialmente deseables en zonas urbanas, calles y avenidas, y en algunas pistas aéreas y en carreteras de muy alto tránsito, en las que cualquier interrupción de servicio o deterioro del mismo sean de importancia.

Existe una marcada preferencia por parte de los pilotos hacia el uso de pavimentos rígidos en aeropistas, basada en la mayor suavidad de operación que con ellos puede lograrse cuando están bien contruidos y en la mucho mayor permanencia de éstas condiciones idóneas con respecto a los pavimentos flexibles; se ha mencionado también que el color y la naturaleza de un pavimento asfáltico hacen que las capas de aire más próximos a la Tierra se calienten mucho bajo fuerte acción solar, con lo que el aire pierde densidad y se dificultan las operaciones de aterrizaje y, sobre todo de despegue de aviones. Por éstas y muchas más razones, el uso de pavimento de concreto hidráulico en aeropuertos de importancia, es casi universal, pero queda en pie la consideración, que debe ser ponderada en cada caso, de que en México, un pavimento flexible puede ser dos o dos veces y media más barato que uno rígido; éste hecho suele inclinar la balanza a favor de las pistas asfálticas en aeropistas más modestas, en que el menor tráfico aéreo debilita la argumentación a favor de la funcionalidad, la seguridad o la rapidez de operación y en las que las interrupciones de servicio por operaciones periódicas de conservación no causan tantos trastornos.

Finalmente, elegido el tipo de pavimento, deberán seleccionarse los materiales que intervendrán en su estructura. Es posible que éstos se ofrezcan en abundancia y que el problema estribe en establecer su selección idónea, pero también es posible que escaseen a tal grado que obliguen al proyecto del pavimento en su conjunto a adaptarse a los que ya existan.

Cuando se fijan los bancos de materiales que se utilizarán en la construcción de un pavimento, sobrevienen muchos problemas de solución incierta en lo referente homogeneidad de los bancos, los métodos de extracción a seguir, los tratamientos a dar a los diferentes materiales, el volumen de los desperdicios y el del material aprovechable, etc. Todos los cuales se reflejan mucho en los costos.

Otro factor importante que interviene en los costos es el relativo a las normas de construcción que han de sujetarse los diferentes materiales para cumplir con el requerimiento de un proyecto. La compactación por ejemplo, incluye un gran número de dudas importantes que han de resolverse con la base de la experiencia y lo ya ejecutado.

5). Los Requerimientos de Conservación.

Son varios y diversos los factores que se plantean en la metodología de los pavimentos para su conservación. Uno de estos factores es el climático, sin embargo, es obvio que existen elementos que resulta a veces difícil estimarlos, puesto que influye la información de las condiciones locales. Otro factor es la intensidad del tránsito en la que debe de preverse el crecimiento futuro así como de qué tipo de cargas circulan sobre ellos.

Otro factor importante es el comportamiento de las terracerías, sus deformaciones, derrumbes, etc. De no analizarse así, podría llegarse a graves problemas de conservación y de reconstrucción. Este comportamiento de las terracerías es decisivo en los pavimentos ya que de buena manera de este depende su vida útil. Un caso específico es el de los pavimentos mediáticos que se construyen sobre terracerías que sufren deformaciones por estar cimentadas en terrenos de baja capacidad de carga, como son los blandos y compresibles.

Uno de los puntos más importantes para definir la vida de un pavimento así como su necesidad de conservación, es el drenaje y el subdrenaje, que son parte integral y primordial del proyecto de diseño del pavimento en carreteras y aeropistas.

Otro factor importante es la destrucción estructural de los materiales que constituyen a un pavimento debido a la carga repetida y que obviamente se refleja en los requerimientos de conservación. Aunque no podemos dejar pasar, que actualmente existen pruebas de comportamiento de los materiales que llegan a controlar la calidad, también debemos decir que surgen muchas dudas al respecto, que deberán solucionarse con juicio y experiencia, ya que de no ser así, este tipo de descuidos pueden llevar a una conservación costosa y en su caso hasta reconstrucciones.

Frecuentemente los pavimentos sufren falta de conservación sistemática, con lo que su vida se acorta imprevisiblemente. Esto suele suceder cuando no existen los recursos suficientes o se postergan por cuestiones de interés o político.

Evidentemente ambas razones no pueden ignorarse, pero una red de carreteras y aeropistas es un costoso patrimonio de México, del que muchas cosas dependen y que tampoco puede dejarse deteriorar en forma indiscriminada. En algunos países del mundo, donde existe la necesidad social de dedicar gran parte de sus recursos a construir obras nuevas, tienen lógicamente la mayor necesidad de conservar las ya hechas, para ello es necesario que fijen

realistamente el nivel de servicio que se desee, y una vez definida la decisión la conservación necesaria deberá ejecutarse indefectiblemente.

6).La funcionalidad.

Especialmente en grandes autopistas, caminos y aeropistas de primer orden, es decir, que tienen especial modernidad y altas especificaciones, la metodología del diseño de los pavimentos puede verse afectados por la funcionalidad que el usuario requiere para circular a la velocidad del proyecto. Dentro de este requisito, quedan incluidos otros muchos de los que la seguridad es el factor más importante; la estética y su efecto en las reacciones psicológicas del conductor; merece también una especial atención la señalización horizontal y vertical, pero en aeropistas debido al alto riesgo que se tiene al despegue y al aterrizaje, se convierten en una situación no meramente estética, sino una prioridad de alta seguridad.

La construcción de pavimentos hoy en día se ha convertido en una especialidad independiente dentro de las vías terrestres. Tiene sus propios desarrollos, sus propios congresos, sus medios de información y controles de calidad.

En un pavimento flexible tipo multicapa, que es el que actualmente se usa en la mayoría de los diseños de construcción de un pavimento, se establece una nomenclatura y la función que se asigna a cada una de las diversas capas.

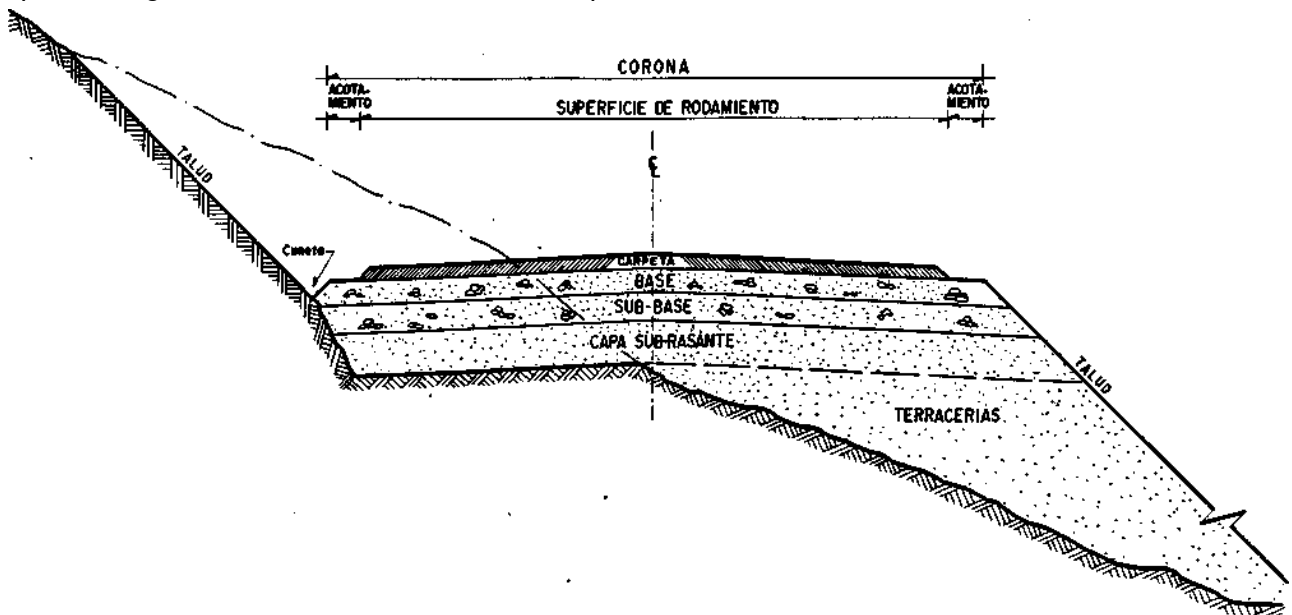


Fig. 1. Sección transversal típica de un pavimento flexible en una sección en balcón.

En la figura 1, vemos la estructuración típica de un pavimento multicapa. La primera capa la constituye una carpeta asfáltica bituminosa, formada con agregado pétreo generalmente de $\frac{3}{4}$ " y un aglutinante asfáltico, la que se define como superficie de rodamiento. Debajo de ella existen dos capas bien definidas : una base, de material pétreo granular constante y una sub-base, formada preferentemente, también por un suelo con granulometría mayor constante, aunque el requisito obligue menos que en la base, en el sentido de poder admitir suelos de menor calidad, con mayor contenido de finos y menor exigencia en lo que se refiere a granulometría; la razón es porque obviamente, el mayor alejamiento de la sub-base de la superficie de rodamiento, por el que le llegan esfuerzos de menor intensidad.

Bajo la sub-base se dispone casi universalmente en el momento presente otra capa, denominada sub-rasante, todavía con menos requisitos de calidad mínima que la sub-base, por la misma razón, pero cuyo fundamental papel mecánico y económico se discute cada vez menos.

Bajo la sub-rasante aparece el material convencional de la terracería, tratado mecánicamente en la actualidad casi sin excepción, por lo menos en lo referente a compactación. Hoy en día forma parte de una especificación la estabilización de este suelo a través de suelo-cal o suelo-cemento para lograr un mejoramiento al subsuelo.

La resistencia de los suelos al esfuerzo cortante no es un requisito fundamental en las terracerías; los niveles de esfuerzo que a ellas llegan a través de todo el espesor protector que constituye el pavimento, quedan siempre por debajo de la capacidad de carga a la falla de cualquier material de terracería en que pudiera pensarse.

La deformabilidad parece ser el requisito básico para la aceptación o rechazo de un material de terracería y también el que condiciona su buen comportamiento como soporte de un buen pavimento. Desde este punto de vista serán fundamentales todos los conceptos que contribuyan a que el material de terracería sea poco deformable. Entre éstos la calidad de los materiales juega un papel importante, sobre todo en dos casos extremos, que corresponden a los materiales que tienen gran abundancia de fragmentos grandes y a los materiales que tienen predominio de los tamaños más pequeños que se da en los suelos.

Los materiales en que predominan los fragmentos grandes y medianos son deformables estructuralmente hablando, por las dificultades constructivas que suele tenerse para darles el

necesario acomodo, que hacen que en muchas ocasiones se cometan graves descuidos durante la construcción que por cierto tienen muy desfavorables repercusiones, más graves cuanto más alto sea el terraplén.

También es de hacer notar el problema especial de deformabilidad que se tiene en terraplenes con grandes fragmentos, cuando aquellos son en el otro extremo, de muy baja altura de manera que los fragmentos quedan cubiertos únicamente por capas delgadas de suelo. En este caso, suelen tenerse espesores de suelo muy poco uniformes, grandes a los lados y entre los fragmentos y pequeños sobre ellos. Naturalmente que un terraplén como este, será muy difícil de compactar correctamente, siendo esta la razón por la que este caso puede presentar grandes problemas de deformabilidad.

Es así como un espesor mínimo de suelo como cobertura de los fragmentos de roca que se aceptan en un terraplén dado y, obviamente, cuando mayor sea este espesor mínimo, el problema será de menor escala.

Una terracería deformable obligará al uso de pavimentos muy espesos, que logren que los esfuerzos transmitidos lleguen a niveles suficientemente bajos por lo que plantean una disyuntiva muy clara; si la deformabilidad se toma en cuenta en el diseño del pavimento, este será antieconómico y el conjunto caro, pues ya se sabe que cuesta más el material del pavimento que el de la terracería; si la deformabilidad no se toma suficientemente en cuenta en el diseño del pavimento, como tantas veces ocurre, nunca se tendrá un pavimento con buen comportamiento en ese lugar por mejor que se conserve y por mucho que se reconstruya.

Todo lo expuesto, forma parte de los elementos que deben considerarse para establecer las especificaciones generales en un proyecto de pavimento, constituyéndose así también los procesos constructivos del mismo.

Como mencionamos en el capítulo anterior, una vez reconocidas la localización del lugar, sus características meteorológicas y los trabajos de campo, debemos mencionar y reconocer las especificaciones del proyecto de construcción del pavimento. Dichas especificaciones están contenidas en el Estudio de Pavimentación y se refieren al diseño del pavimento, estructura del pavimento y al procedimiento de construcción y sección tipo.

Para desarrollar un proceso constructivo de un pavimento, generalmente el método que se utiliza está basado en las especificaciones del proyecto. Estas especificaciones se forman de todos los estudios y ensayos de los materiales que componen la estructura del pavimento. Cabe mencionar que estos estudios se realizan de manera previa a través de un laboratorio, donde se verifica fehacientemente, las propiedades Físicas (Confinamiento en suelos friccionantes, consolidación previa, suelos finos y arcillosos, Mezclas, suelos con suelos), Mecánicas (Compactación), Químicas (Estabilizaciones, con cal, con cemento, con asfalto y otras sustancias) y los comportamientos que tienen estos materiales.

Fundamentalmente el diseño de un pavimento tiene tres aspectos; el primero es calcular el Valor Relativo de Soporte de la superficie descubierta donde se construirá el pavimento, que se calcula a través de ensayos en el laboratorio o en el campo, y se expresan a través de cifras en un formato (fig. 2). Esta medición es para demostrar la capacidad de carga con que cuenta el terreno. Segundo, deberá tomarse en cuenta la carga que será aplicada sobre toda la estructura del pavimento. Y tercero, muy importante, las propiedades que tienen los materiales destinados a constituir la estructura del pavimento. Estos tres parámetros son el común denominador donde prevalece el diseño propio del pavimento.

El laboratorio determina las propiedades de los materiales a través de pruebas, como son : los reportes de las compactaciones de las terracerías tipo, la determinación del peso volumétrico del Material Seco y Suelto, la Composición Granulométrica (fig. 3 y fig. 4), la Determinación de la Humedad, (fig. 5). Existen otros tipos de pruebas como suelen ser los sondeos de penetración a cielo abierto, secuencia estratigráfica, límite de Plasticidad, permeabilidad, etc.

En el análisis que realiza el Laboratorio, se considera la problemática general del comportamiento de los pavimentos flexibles con estructura usual dentro de la práctica mexicana. En primer lugar se discute el papel fundamental que juegan las características del comportamiento mecánico de los materiales térreos, utilizados dentro del comportamiento general, considerando el efecto del tránsito y los que provienen del intemperismo y del efecto del agua.

Al igual que en la casi totalidad de las aplicaciones de la Mecánica de Suelos, los materiales de esa naturaleza que se utilizan en la construcción de pavimentos, son de dos tipos claramente diferenciados. Los que se denominan materiales gruesos (arenas, gravas, fragmentos de roca, etc.) constituyen un primer grupo, siendo el segundo el formado por los suelos finos, cuyo arquetipo son los materiales arcillosos.

Es bien conocida la gran diferencia que en comportamiento tienen ambos grupos de suelos, debido al mismo origen de los miembros de cada grupo. Dando atención únicamente a las características de resistencia y de deformación, se sabe que la diferencia de comportamiento entre los suelos gruesos y finos no es de carácter cuantitativo, sino que esas diferencias son de orden cualitativo, en el sentido de que las manifestaciones de esas propiedades en el comportamiento ingenieril no son de grado, sino de naturaleza misma de los mecanismos íntimos operantes. También es cierto que en un plano más profundo de análisis, esos mecanismos últimos tienden a acercarse mucho entre los dos grupos de suelos; por ejemplo, una muy amplia corriente de opinión en la Mecánica de Suelos actual, tiende a explicar la generación de resistencia al esfuerzo cortante, de ambos grupos de suelos, con base en los conocimientos fundamentales que se tienen sobre fricción mecánica y, análogamente, muchas de las ideas en torno a la deformabilidad de los materiales térreos pueden conceptualizarse de una manera muy análoga en los suelos gruesos y en los suelos finos.

Los mecanismos de la resistencia y de la deformación y la manera en que se desarrollan ambas, presentan diferencias que ameritan una mención por separado.

Es bien sabido también que muchas de estas diferencias en el terreno fenomenológico ocurren por la naturaleza y la estructura íntima que adoptan las partículas individuales o sus grumos, en el caso de los suelos finos, que forman agrupaciones compactas y bien familiares, en el caso de los suelos gruesos, pero que adoptan formas sumamente vaporosas con grandes volúmenes de vacíos y ligas poco familiares en el caso de los finos.

En los suelos gruesos, tales como en las arenas y las gravas, la deformación del conjunto por efecto de cargas externas solo puede tener lugar o por acomodo brusco de partículas menores en los huecos que entre sí dejen las mayores, o por ruptura y molienda de las partículas. La expansión de suelos gruesos, es un fenómeno que para efectos prácticos no tienen presencia en la tecnología de carreteras. La estabilidad de las estructuras de los suelos gruesos ante la presencia del agua en grande, si se prescinde de la posibilidad de arrastres internos de partículas menores por efecto de agua circulante en el interior de los suelos, efecto que también es relativamente poco común en las carreteras. Como consecuencia, si el suelo grueso está constituido por partículas mineralógicamente sanas, su resistencia al esfuerzo cortante, está basada en mecanismos de fricción interna entre los granos o en la resistencia que oponen esos mismos granos a deslizarse o moverse unos con respecto a otros, es grande relativamente hablando y depende de la fricción interna entre los granos y de su propia dureza, que los ponga a cubierto de rupturas. Durante cualquier sollicitación existe el hecho fundamental de que cuanta mayor presión ejerzan sobre el conjunto de granos las cargas exteriores, la resistencia del conjunto crece, tal como ordenan las leyes de la fricción. Evidentemente, cualquier aumento en la compacidad del conjunto trae consigo un aumento en propia resistencia intrínseca y al reacomodo. Caso de llegarse a producir algún deslizamiento entre acomodo y partículas, debido a altos esfuerzos, la deformación correspondiente es siempre de magnitud relativamente pequeña. Se insiste en que cualquier masa de esta naturaleza bien compactada, adquiere características de resistencia y difícil deformabilidad son además muy permanente en el tiempo y especialmente muy poco dependientes del contenido de agua que el conjunto tenga o adquiriera. Todas estas características son muy favorables para lo que el Ingeniero desea que ocurra en la sección estructural de una carretera. Con estos suelos es fácil alcanzar una resistencia suficiente y una deformabilidad muy aceptable, recurriendo a técnicas de compactación bien conocidas y esas características son relativamente muy poco variables en el tiempo.

METODOS APLICABLES AL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Debe reconocerse que el problema de diseño de los pavimentos flexibles no está hoy teóricamente resuelto de manera satisfactoria. Sin ignorar algunos meritorios esfuerzos del pasado y algunos esperanzadores trabajos que se encuentran en plena realización en el presente, parece que la afirmación anterior es justa.

En las tecnologías de la ingeniería de pavimentos, la falta de desarrollos teóricos confiables ha de suplirse en dos ámbitos distintos: la experimentación en el laboratorio y la instrumentación de prototipos para obtener directamente normas de comportamiento. Ambos procedimientos de adquisición de información válida son ampliamente utilizados en la actual, tanto en México como en el resto del mundo. Ambos han rendido frutos satisfactorios, pero están sujetos a la compleja problemática del comportamiento de los pavimentos, dependiendo de un número de factores particulares de cada caso, todos muy influyentes como ya se dijo de carácter climático, de naturaleza de materiales, de topografía, de geología, de carácter del tráfico, etc., y están sujetos también al hecho básico de la carencia de un esquema teórico que permita considerar ordenadamente todos esos factores.

La información experimental obtenida hasta la fecha se ha utilizado fundamentalmente de tres formas. Se obtienen parámetros de comportamiento de los materiales, que introducidos en alguna relación previamente obtenida, que a su vez contenga alguna ecuación, permitan efectuar cálculos útiles para resolución de una pregunta específica. Una segunda utilización estriba en ir obteniendo un sentimiento experimental variado en relación a los fenómenos estudiados, con la finalidad de ir obteniendo conclusiones de carácter cada vez más general. Además existe una tercera manera de utilizar la información generada en el laboratorio, que es particularmente frecuente en la actual tecnología de pavimentos. Se trata de correlacionar la respuesta experimental de un material manipulado de una cierta manera con una tecnología de laboratorio, con el comportamiento observado de estructuras construidas en las obras reales, de manera que un cierto valor específico obtenido al aplicar la tecnología de laboratorio, se pretende relacionar con un cierto nivel de comportamiento de una obra o parte de ella en el campo de la realidad, tratando inclusive de establecer correspondencia entre la escala de esos valores en el laboratorio y en la obra.

Un ejemplo de este proceder se tiene, en el caso de la prueba de Valor Relativo de Soporte, en la que una maniobra especial de penetración ejecutada en el laboratorio por un pistón

presionado contra una muestra de suelo, se correlaciona con el futuro comportamiento de una capa de ese mismo suelo dispuesta en una carretera o aeropista. Correlaciones de este mismo estilo se tienen en la utilización del estabilómetro de Hveem, de ciertas modalidades de pruebas triaxiales, etc.

En otros casos la correlación entre la manipulación de laboratorio y el comportamiento del material, se refiere a otros aspectos; por ejemplo, en las pruebas de índice de Plasticidad (límite líquido, límite plástico), se correlaciona la correspondiente manipulación del laboratorio con propiedades de comportamiento más generales, como la comprensibilidad u otras.

El éxito de éste tipo de correlaciones ha sido muy variable y a veces no se ve reflejado por la utilización que los ingenieros hacen de ellas; por ejemplo, es bien sabido que en el caso de los suelos finos o relativamente finos, transportadas las correlaciones generales de comportamiento que se obtienen de las mediciones de índices de plasticidad, son sumamente concordantes con la realidad observada en las obras, en lo general, pero se sabe también que la muy utilizada prueba de Valor Relativo de Soporte tiene correlaciones con el comportamiento real de los materiales, muchísimo menos seguras y más influenciadas por factores circunstanciales de cada caso particular. No hay que decir que una justificación adecuada de las posibilidades de las técnicas experimentales utilizadas en el diseño y en la construcción de pavimentos es esencial, por más que rebase las intensiones y posibilidades de este trabajo.

Debe mencionarse también que en este momento existe a nivel mundial una profunda preocupación, que se está traduciendo en esfuerzos concertados de investigación internacional, a todo lo cual México no es indiferente, por encontrar tecnologías de laboratorio que traten de informar sobre el comportamiento de los materiales en relación directa a propiedades fundamentales o a circunstancias específicas que afectan a los pavimentos reales, yendo más allá de tratar de conocer el comportamiento estructural con base en una correlación con manipulación de naturaleza diferente, intrínsecamente hablando, que la propiedad que se desea medir.

Estos esfuerzos están haciendo aparecer tecnologías de laboratorio generadas por procedimientos más razonables, pero aún no del todo confrontados con la realidad de las

obras, por lo que es difícil justipreciar cuál va a ser el nivel de su éxito. Lo que parece fuera de duda es que se observa una inquietud de los investigadores en el campo de los pavimentos, que produce una actividad creciente que no dejará de generar resultados favorables.

Para el cálculo de los espesores que compondrán el pavimento, se utilizan cuatro métodos de diseño en México dependiendo de los niveles de tráfico: el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el del Catálogo Técnico de Uso en España (MOPU), el del Instituto Norteamericano del Asfalto y finalmente el propuesto por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.).

En las Fig. 6 y Fig. 7, se ilustran las características de las cargas de las aeronaves usuales y los vehículos terrestres que sirven como referencias para diseñar un pavimento así como las tablas de curvas para calcular los espesores de pavimento en función del VRS para un tipo de avión característicos como el Boeing 747, Fig. 8.

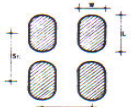
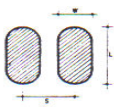
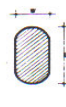
CARACTERÍSTICAS DE CARGA DE LAS AERONAVES USUALES										
TIPO DE AERONAVE		BOEING 747	DC - 8	BOEING 707	COMET	BOEING 727	DC - 9	DC - 6	DC - 4	DC - 3
PESO MÁXIMO AL DESPEGUE (TON.)		352.9	162.4	152.5	73.5	78.5	52.2	48	33	12.2
DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA (TON.)	NARIZ	22.9	8.0	10.7	3.2	6.3	2.9	2.1	1.6	0.6
	TREN PRINCIPAL	330.0	154.4	141.8	70.3	72.2	49.3	45.9	31.4	11.6
PRESIÓN DE LAS LLANTAS Kg/cm ²		13.01	13.7	12.7	11.8	11.8	9.1	7.45	5.5	3.5
ÁREA DE CONTACTO POR RUEDA (cm ²)		1585	1409	1396	745	1530	1354	1540	1427	1657
GEOMETRÍA DEL TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL (cm)	S	112	55	88	49	86	66	78	76	-----
	St	147	140	142	114	-----	-----	-----	-----	-----
	L	55	52	52	38	54	51	54	52	56
	W	33	31	31	22.5	32.5	30	33	31	34
DISPOSICIÓN DE LAS LLANTAS										

Fig. 6. Características de carga de las aeronaves usuales

NOTA

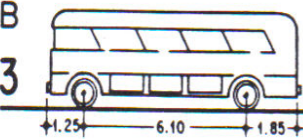
K_V = Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío.

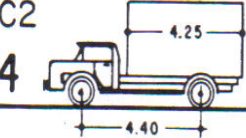
K_C = Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado.

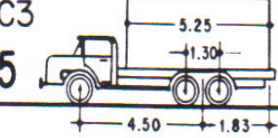
EJE	W_{VAC}	K_V	W_{CARG}	K_C
1	0.9	0.0001	1.0	0.0002
2	0.9	0.0001	1.0	0.0002
3	—	—	—	—
Σ	1.8	0.0002	2.0	0.0004

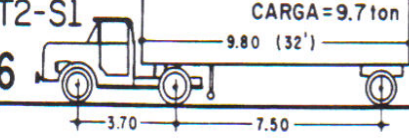
A_p		
1		

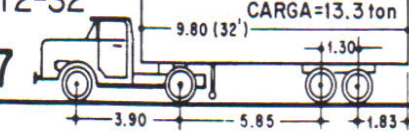
A_c		CARGA=2.5 ton
2		

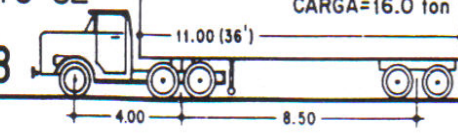
B		25 PASAJEROS
3		

C2		CARGA=5.1 ton
4		

C3		CARGA=9.7 ton
5		

T2-S1		CARGA=9.7 ton
6		

T2-S2		CARGA=13.3 ton
7		

T3-S2		CARGA=16.0 ton
8		

1	1.2	0.0005	1.6	0.0014
2	1.2	0.0005	3.3	0.0260
3	—	—	—	—
Σ	2.4	0.0010	4.9	0.0274

1	3.0	0.0180	4.2	0.0690
2	7.0	0.5310	8.3	1.0500
3	—	—	—	—
Σ	10.0	0.5490	12.5	1.1190

1	1.5	0.0011	2.5	0.0086
2	2.7	0.0118	6.8	0.4730
3	—	—	—	—
Σ	4.2	0.0129	9.3	0.4816

1	1.7	0.0018	2.6	0.0100
2	5.2	0.0144	14.0	0.7600
3	—	—	—	—
Σ	6.9	0.0162	16.6	0.7700

1	2.5	0.0085	3.0	0.0180
2	3.6	0.0370	8.0	0.9059
3	3.0	0.0180	7.8	0.8186
Σ	9.1	0.0635	18.8	1.7425

1	3.5	0.0331	4.0	0.0560
2	4.0	0.0560	8.5	1.1600
3	3.8	0.0100	12.1	0.4300
Σ	11.3	0.0991	24.6	1.6460

1	3.5	0.0331	3.9	0.0510
2	5.4	0.0168	13.0	0.5640
3	5.0	0.0124	13.0	0.5640
Σ	13.9	0.0623	29.9	1.1790

Fig. 7. Conversión de vehículos a ejes equivalentes

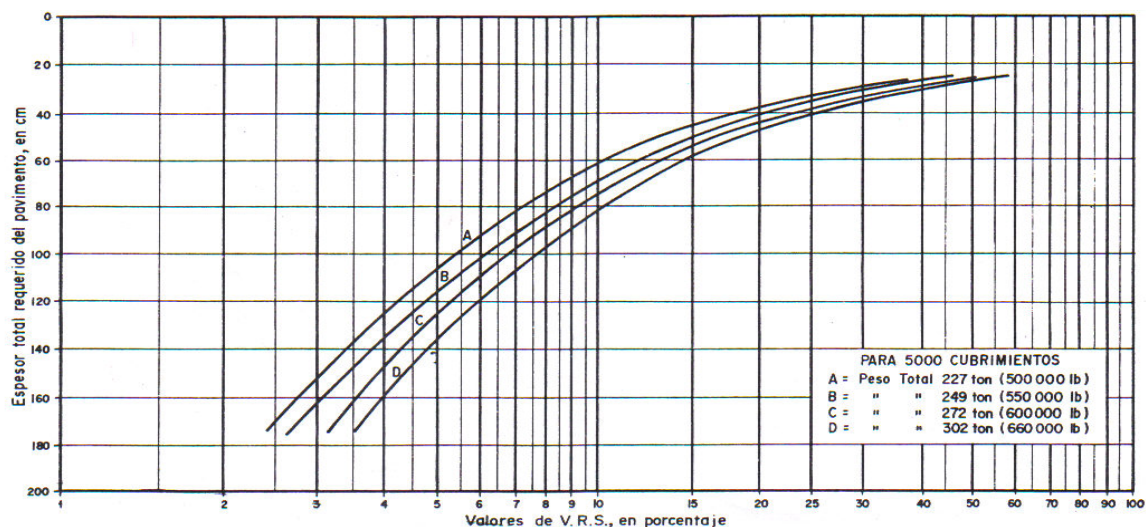


Fig. 8. Curvas de espesor del pavimento en función del V.R.S. para el avión Boeing 747

Para el proyecto de un pavimento flexible, todas las variables del tránsito deben reducirse a un concepto constante o que, por lo menos, pueda ser manejado en las fórmulas matemáticas o en los criterios de diseño de un modo cómodo e integral. F.N. Hveem ha distinguido al siguiente conjunto de factores como los que ejercen influencia dentro del concepto global denominado carga del tránsito; distingue cuatro factores de influencia principal y tres de efectos más secundarios.

Factores Principales:

1. Carga transmitida por la rueda
2. Área de influencia de la carga
3. Número de repeticiones de la carga (cubrimientos)
4. Velocidad

Factores Secundarios

1. Área de contacto de la llanta, que determina la presión de contacto.

2. Número de llantas en el arreglo.
3. Espaciamiento entre las cargas.

En la Figs. 9 y 10, se ilustran la influencia de un sistema dual en lo que se refiere a esfuerzos y distribución de cargas y método gráfico para encontrar la carga de la rueda de diseño equivalente a un sistema dual.

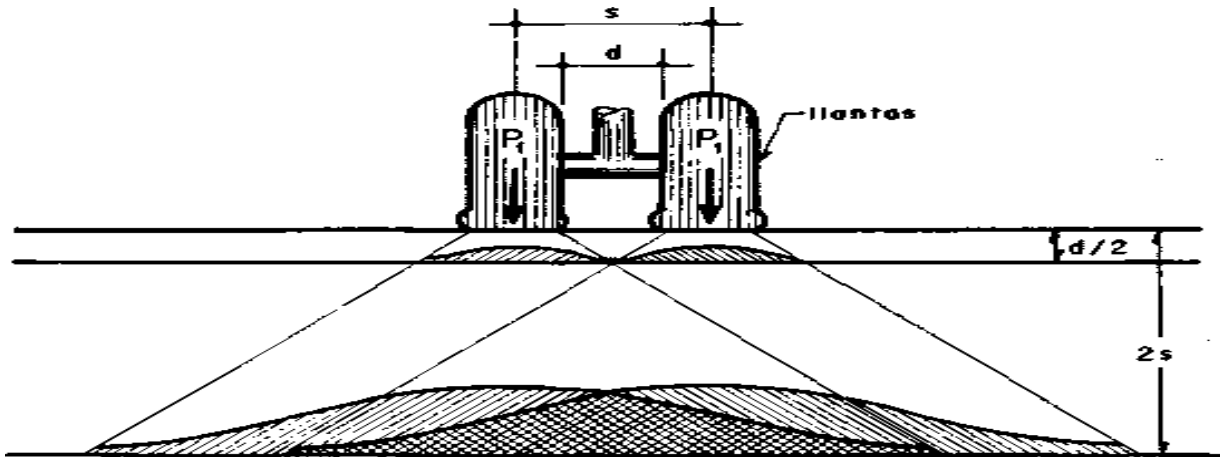


Fig. 9. Influencia de un sistema dual en lo que se refiere a esfuerzos.

Una buena parte de estos factores es muy difícil o imposible de reproducir en los laboratorios con fines de investigación.

La magnitud de la carga que se aplica a los pavimentos flexibles, varía entre límites muy amplios; en camiones llega a 9 toneladas (18,000 lbs.) por eje y puede alcanzar las 355 tons que pesa un avión Boeing 747.

Las aplicaciones de las cargas, para que tengan sentido en los análisis comparativos, han de referirse a conceptos que las homogenicen, tales como el de rueda de diseño y el de carga equivalente. Ningún método de diseño en uso, toma en cuenta la variabilidad de tránsito en forma completa; de hecho, es normal proyectar los pavimentos flexibles de las carreteras para que sean capaces de resistir la carga transmitida por una sola rueda idealizada; en el caso de aeropistas, por un arreglo de llantas prefijado. Para determinar éstos de un modo representativo será preciso comenzar por elegir al vehículo que, a su vez, represente convenientemente al tránsito. En aeropuertos es común que el seleccionado sea el avión

cuyo tren de aterrizaje transmita la carga más pesada; en carreteras lo usual es escoger al camión más frecuente o al más pesado. Para llegar a la carga de diseño, que represente el efecto global, será además preciso establecer una equivalencia entre la carga transmitida por el arreglo de las llantas del vehículo elegido y la carga ideal.

Para llegar a la carga equivalente se han seguido dos criterios. O se busca la rueda simple que produzca a una cierta profundidad los mismos esfuerzos verticales que el sistema de llantas del vehículo o la que produzca las mismas deformaciones.

En la Fig. 9, se muestra una idealización muy utilizada del efecto de un sistema dual, según la que se llega a una rueda equivalente de diseño atendiendo a lograr una misma intensidad en los esfuerzos transmitidos.

Tanto en la teoría como las mediciones experimentales muestran que el efecto de las dos llantas empieza a superponerse apreciablemente a la profundidad $d/2$ bajo la superficie de rodamiento; también muestran que la superposición de los esfuerzos de las dos llantas es prácticamente total a la profundidad $2S$, Fig. 10, es decir, que en un punto colocado bajo ese nivel actuaría un esfuerzo igual al que se tendría si en la superficie y en el centro del espacio de carga, actuara una fuerza única $2P$.

Con estas bases, si se supone que entre la profundidad $d/2$ y $2S$, la variación de la carga que produce un esfuerzo dado a una cierta profundidad es lineal, puede adoptarse un criterio sencillo para obtener la carga simple equivalente a un sistema dual dado. En efecto, un punto colocado entre la superficie y la profundidad $d/2$ es actuado por un esfuerzo debido solo a la carga P ; un punto más profundo que $2S$, sufre un esfuerzo debido a una carga única $2P$; un punto intermedio entre $d/2$ y $2S$, se razona con este método, tendrá un esfuerzo debido a una carga proporcionalmente intermedia entre P y $2P$. En rigor, la relación lineal antes expuesta entre carga y profundidad, no es correcta, pero tal relación lineal es mucho más admisible. De este hecho cuando se usan escalas logarítmicas y de las consideraciones anteriores se deduce el método para encontrar la carga equivalente a un sistema dual, que se muestra en la Fig. 10.

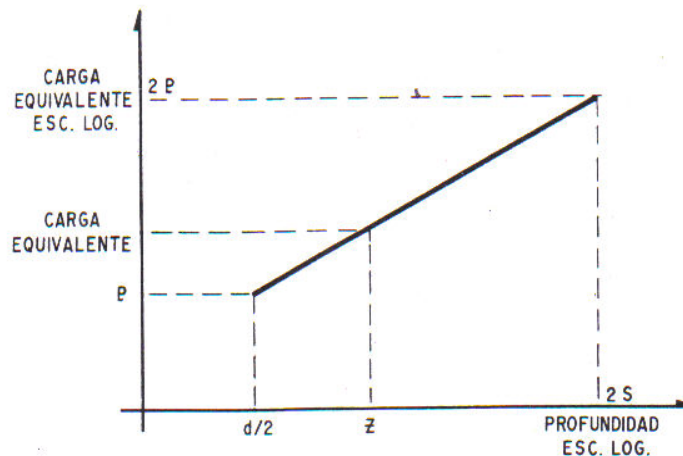


Fig. 10. Método gráfico para encontrar la carga de la rueda de diseño equivalente a un sistema dual.

Dentro de un pavimento tipo multicapa, la capa superior o superficie de rodamiento, en un pavimento rígido se compone de concreto hidráulico y para un pavimento flexible, de un concreto asfáltico, que es el caso que estamos analizando en este trabajo, donde he desarrollado mi experiencia profesional.

En la composición estructural de un pavimento flexible multicapa, existe la capa superior, que es la superficie de rodamiento, la cual recibe inicialmente las cargas y ésta capa tiene la capacidad de transmitir y distribuir las cargas a las capas subyacentes de las terracerías (cuerpo de terraplén). Esta capa es la que inicialmente recibe el desgaste causado por el tránsito de los vehículos previendo así que no se exceda la capacidad para soportar cargas de ésta última.

En seguida mencionaremos el producto de la adaptación y simplificación de los métodos y normas antes mencionados en este capítulo.

El pavimento flexible, como ya se dijo, es una estructura formada por una o varias capas de material seleccionado, cuya función principal es la de transmitir las cargas de los vehículos. En su forma más completa el pavimento flexible, está formada por tres capas de materiales, de mejor calidad que la terracería, las cuales se enumeran a continuación:

a).- Subrasante (terraplén)

b).- Sub-base

c).- Base

d).- Carpeta asfáltica (Sup.de Rodamiento)

a).- La subrasante es la capa inmediata del terraplén, la superficie descubierta de material existente, que hoy técnicamente se le da un tratamiento de un suelo compuesto, es decir, suelo-cemento, suelo-caliza, etc., y que necesariamente deberá de ser compactada dinámicamente para obtener resultados óptimos de estabilización fijados por el laboratorio, bajo estudios previos de análisis de dichos materiales, así como su dosificación.

b).- La sub-base se construye directamente sobre la terracería y está constituida por un material de mejor calidad que el de aquélla, obtenido generalmente de bancos cercanos a la obra. Sus principales funciones son:

1. Reducir el costo del pavimento, cuando éste es de espesor considerable, disminuyendo el espesor de la base que se construye generalmente con materiales de mayor costo.
2. Proteger la base aislándola de la terracería, cuando ésta última está constituida de material fino y plástico. En este caso, si la base es de textura abierta, de no existir el aislamiento producido por la sub-base, el material fino y plástico de la terracería, se produciría en la base, pudiendo provocar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad, a la vez que se disminuiría la resistencia estructural de la base.

El aislamiento producido por la sub-base, no solo consiste en evitar que los finos plásticos de la terracería, se introduzcan en la base de textura abierta, sino también en evitar los “bufamientos” y revoltura de ambos materiales cuando se usan gravas de río o piedra triturada en las bases. El material escogido para la sub-base, debe producir una capa que confine al suelo plástico y que pueda trabajar, hasta cierto grado a la flexión, lo cual se consigue con materiales más o menos finos y de cohesivos, o de alta cementación.

3. En caminos en construcción frecuentemente se construye la sub-base, que propiamente es un revestimiento provisional, para tener una superficie de rodamiento que facilite, en cualquier época del año, el paso del equipo de construcción y de los vehículos que transiten por el camino antes de quedar pavimentado. En este caso, conviene construir el revestimiento provisional con el espesor indispensable para lograr el tránsito sin atascaderos o exceso de polvo que a veces forma una capa de espesor considerable.
4. Si el revestimiento provisional, una vez que ha estado en servicio, reúne las condiciones de calidad para su base, éste espesor debe descontarse del espesor calculado para el pavimento.

c).- La capa de base se construye directamente sobre la sub-base o sobre la terracería y debe de estar formada por materiales de mejor calidad que el de éstas.

Los principales requisitos que debe satisfacer la capa de base, son los siguientes:

1. Tener en todo tiempo la suficiente resistencia estructural para soportar las presiones que le son transmitidas por los vehículos estacionados o en movimiento.
2. Tener el espesor necesario para que dichas presiones, al ser transmitidas a la sub-base o a la subrasante, no excedan la resistencia estructural de éstas.
3. No presentar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad.

d).- La carpeta asfáltica está constituida por un material pétreo al que ha sido adicionado un producto asfáltico bituminoso, que tiene por objeto servir como aglutinante.

Las funciones principales que debe satisfacer la carpeta asfáltica son las siguientes:

1. Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil, seguro y cómodo de los vehículos de carga y de pasajeros.
2. Impedir la infiltración del agua de lluvia hacia la capa inferior que ocasionaría una disminución en su capacidad para soportar cargas.
3. Resistir la acción destructora de los vehículos y de los agentes climatológicos.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.

El procedimiento adoptado para determinar el espesor mínimo de la capa o capas de material que deberán colocarse sobre el suelo estudiado, a fin de que las presiones que le son transmitidas no excedan su resistencia, como lo dijimos anteriormente se basa en el Valor Relativo de Soporte determinado por medio de las pruebas de campo por el laboratorio, y en la estimación de la intensidad de tránsito. Estas pruebas deben verificarse en las condiciones más desfavorables de humedad a criterio del ingeniero se puedan presentar.

Las pruebas que son aquéllas en las que se reproducen en el laboratorio varios pesos volumétricos, entre los cuales estará comprendido el que vaya a alcanzar el material en la obra, deben emplearse para elaborar un anteproyecto anticipadamente a la construcción. Los espesores calculados para el grado de compactación supuesto en el anteproyecto, tendrían que modificarse, tomando en cuenta el grado de compactación que realmente se obtuvo en la obra.

Cuando se estudie una terracería ya construida y el suelo no sufra cambios por compactación mecánica adicional, deben ejecutarse las pruebas de laboratorio en campo. Si se observa que en la subrasante existe una humedad baja, deben escavarse de 10 a 20 cms. para hacer en el fondo la prueba de laboratorio a una humedad mayor, o de ahí tomar la muestra para la prueba. Si a pesar de haber excavado no aumenta apreciablemente la humedad y se considera que ésta se incrementará posteriormente, debe entonces mojarse el fondo de la excavación y esperar a que el agua penetre totalmente hasta una profundidad mínima de 1 cm; el aspecto del suelo en estas condiciones debe ser semejante al del material con la humedad óptima. En seguida, en el mismo sitio, se ejecutará nuevamente la prueba. Lo anterior solo debe hacerse en los suelos más o menos permeables y no muy plásticos (areno-arcilloso).

En los suelos bajos o de baja permeabilidad, con humedades bajas, se deben tomar muestras representativas para hacer en el laboratorio pruebas pertinentes, reproduciendo el peso volumétrico seco del lugar y usando la humedad que le corresponda al grado de compactación del material de acuerdo con las variantes 1 y 2 de la misma prueba, según lo considere el jefe del laboratorio.

a.- Grado de compactación que debe tener la capa superior de la terracería.- Para hacer la determinación correspondiente se efectúa la prueba de laboratorio, utilizando de acuerdo con las condiciones de la región las humedades indicadas del Instructivo de Pruebas.

Instructivo de Pruebas

<u>Grado de compactación</u>	<u>Valor relativo de soporte</u>
80% -----	4%
85% -----	5%
90% -----	8%
95% -----	12%
100% -----	20%

Observando los valores relativos de soporte tabulados se nota que aumentando la compactación a grados mayores del 90% se obtienen incrementos significativos en el valor relativo de soporte. Por lo tanto, el suelo ensayado debe ser compactado a más del 90% para disminuir el espesor del pavimento. Existen otros suelos en que el incremento se acusa a partir del 95%; inclusive, hay suelos en los cuales aun en el 100% no se acusa un incremento apreciable en el valor relativo de soporte, por lo que no es económico llegar hasta dicho grado de compactación.

Estos últimos suelos deben deshacerse siempre que sea posible, o bien compactarlos a un grado tal que no haya posibilidad de asentamientos apreciables posteriores; lo anterior se logra, por lo general, al 90% de compactación.

b.- Espesor total de la capa superior de las terracerías más el pavimento.- Se determina mediante las curvas en función del valor relativo de soporte del material de la terracería que no ha sido compactado con equipo especial. Deberá seleccionarse la curva de proyecto, de acuerdo con la intensidad de tránsito previsto en caso de caminos, o del tipo de avión en caso de aeropuertos.

c.- Espesor del pavimento.- Se determina en función del Valor relativo de soporte al grado de compactación alcanzado, o que se supone alcanzará el material que se encuentra en la parte superior de la terracería.

d.- Espesor de la capa superior de la terracería que debe compactarse con equipo especial.- Es igual al espesor total calculado en (b), menos el espesor del pavimento.

e.- Espesor de la sub-base.- Es igual al espesor del pavimento menos el espesor de la base más carpeta. Como es frecuente que la sub-base resulte de bajo espesor, por especificación no debe tener menos de 10 cms.

f.- Espesor de la base.- Se calcula en función del Valor Relativo de Soporte de la sub-base a la compactación mínima especificada en esta. Si el espesor de la carpeta asfáltica es mayor de 2.5 cms. al espesor calculado, deberá restársele el espesor de la carpeta para obtener el de la base. En carpetas más delgadas, no es conveniente hacer dicha corrección. Por especificación la base no debe tener un espesor menos de 10 cms.

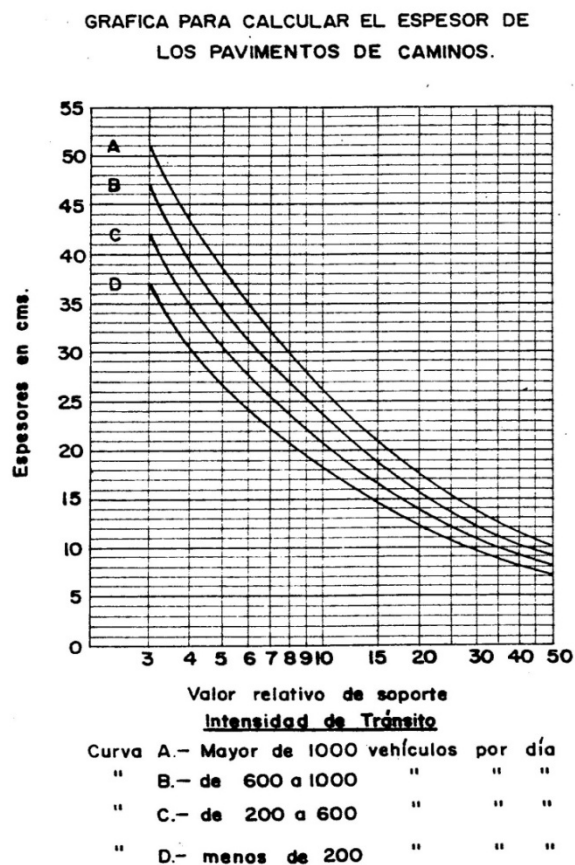


Fig. 11. Gráfica para calcular el espesor de los pavimentos en carreteras.

Cálculo de espesores para la porción central de las pistas de aterrizaje de un aeropuerto.-

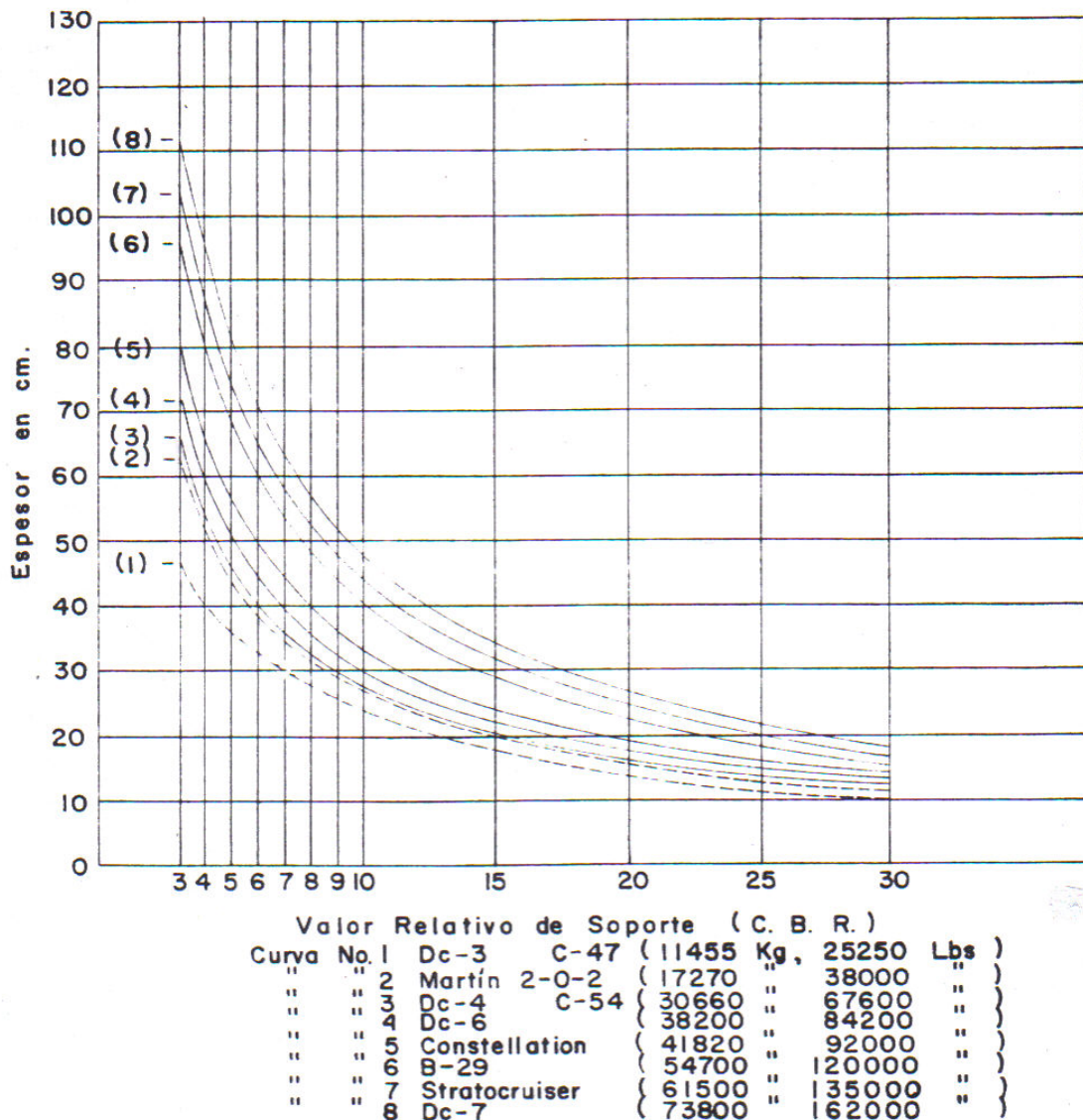
La porción central es el tramo de la pista comprendida entre las cabezas o extremos, y es donde se efectúan la carrera acelerada de despegue y la desacelerada de aterrizaje. La longitud de dicho tramo se considera que es igual al 80% de la longitud total de la pista y su centro de figura coincide con el de la pista.

Cuando no se construyen pistas de acceso, la pista de aterrizaje debe estudiarse en la misma forma que aquellas, puesto que servirán también para que los aviones se muevan a baja velocidad hacia la plataforma o viceversa.

En la Fig. 12 aparecen las curvas de proyecto que deben utilizarse para hacer los cálculos respectivos.

AEROPUERTOS

Curvas para calcular espesores en la porción central de las pistas de Aterrizaje. Para las Plataformas, Pistas de Acceso y Cabezas de Pista, multipliquen por 1.15 los espesores calculados con ésta gráfica.



Los espesores calculados con las curvas anteriores deberán multiplicarse por los siguientes coeficientes:

OPERACION	COEFICIENTES	DESPEGUES Y ATERRIZAJES
(Emergencia)	0.55	en 24 horas 6
	0.65	16
	0.70	24
(Limitada)	0.80	74
	0.90	250
(Ilimitada)	1.00	750 ó más

Fig. 12. Curvas para calcular espesores en la porción central de las pistas de aterrizaje. Para las Plataformas, Pistas de Acceso y Cabezas de Pista, multiplicar 1.15 los espesores calculados con ésta gráfica.

Por los efectos destructores de las llantas de los aviones en el aterrizaje y al girar para transitar o estacionarse en determinada posición, es indispensable que las carpetas se construyan con mezcla asfáltica, preferentemente de textura cerrada y elaboradas en planta móvil o fija con cementos asfálticos o asfaltos rebajados de fraguado rápido.

Los espesores mínimos (mezcla compacta) para la carpeta son los siguientes:

- Aviones con un peso total de 35,000 Kg (77,000 lbs.) o menos: 3 cms.
- Entre 35,000 y 55,000 Kg (121,000 lbs.): 5 cms.
- Mayor de 55,000 Kg: de 7.5 a 10 cms.

En virtud de que las pendientes transversales no son mayores de 1.5%, es necesario se dé un riego de impregnación para evitar la infiltración del agua de lluvia.

Dentro de la composición granulométrica de los materiales utilizables para las sub-bases y bases, se recomienda usar materiales producto de trituraciones basálticas normalmente, en tamaños de 2½ ", 1½", y 1" que han sido previamente analizados por el laboratorio, cuyas características oscilan en un límite líquido en 35% máximo con un índice de plasticidad de 3 a 9 y de una contracción lineal del 5% máximo.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE SUBRASANTE, SUB-BASE Y BASE.

Comúnmente, los procesos ideales para obtener resultados satisfactorios en la calidad de las capas de las terracerías, son las siguientes: antes de iniciar la construcción del revestimiento, sub-bases, bases del pavimento, etc., se deberá preparar la subrasante de manera de dejarla bien consolidada y con los perfiles que se haya fijado en el proyecto.

La superficie deberá uniforme y dura, debiendo resistir el peso de camiones cargados sin que éstos dejen huellas profundas. Para lograr lo anterior, se escarificará a una profundidad de 10 a 15 cms. y se procederá a romper los terrones y mezclar el material. Se regará agua en la cantidad necesaria en un espesor de 10 cms. dependiendo del tipo de material en una proporción de un 25% de agua por cada M3 de material, mezclando de manera homogénea la mezcla para obtener la humedad óptima, logrado lo cual se procederá a compactar a un ¼ de rueda con compactación vibratoria de peso no menor de 20 ton. de impacto y hasta que

se obtenga así la mayor consolidación posible, hasta lograr el grado de compactación que el laboratorio indique, que normalmente es del 90% proctor, según proyecto.

El volumen del material suelto antes de compactarlo deberá ser tal, que una vez consolidado el nivel de la rasante, quede de 2 a 3 cms. más alto que el fijado en los planos del proyecto geométrico.

En aquéllos casos en que el material que forma la subrasante sea excesivamente arcilloso, se procederá a mejorar el mismo a un espesor de 10 cms., mezclándole arena. La cantidad de arena variará de acuerdo con las características físicas de cada material, y el laboratorio podrá fijar ésta, pero cuando no se disponga de éstos datos, se usará un 50% de arena con relación a la mezcla final.

Para las sub-bases y bases de grava con cementante (controlada) consistirán en mezclas naturales cuya dosificación la fijará el laboratorio según los ensayos estudiados, logrando que se mantenga estable con los cambios de humedad. Para este proceso, en ocasiones la mezcla dosificada viene preparada de los bancos de suministro y solo hay que humedecerla para lograr una homogeneización óptima en una proporción que marque el laboratorio con pruebas ensayadas previamente. La otra forma, hay que realizar la mezcla en el sitio, a través de la mecanización necesaria.

Se compactarán dinámicamente hasta lograr la consolidación y mantener estable los cambios de humedad, según indique el laboratorio, que normalmente en este tipo de capas y materiales, oscila en el 95% al 100% proctor.

Una regla infalible en este tipo de capas, es no tener espesores mayores ni menores de 25 cms., por el tamaño del agregado pétreo, así como la mecanización de la compactación. El extendido de estas mezclas de materiales para sub-bases y bases, se realiza con una motoconformadora y la compactación a través de un vibrocompactador, cuyo golpe de impacto oscila en los 24,000 kg/cm².

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LAS CARPETAS ASFALTICAS.

Una vez terminada y recibida con la calidad deseada, la base hidráulica, el procedimiento

que deberá realizarse es el siguiente: llevar a cabo un barrido mecánico previo riego de agua para matapolvo y eliminar grumos, material excedente producido por la compactación, etc. Esta acción es de vital importancia ya que la superficie deberá estar libre de cualquier agente que pueda causar un obstáculo para recibir el riego de impregnación.

Este riego de impregnación se lleva a cabo con un material derivado del petróleo y fabricado en planta fija, denominado *emulsión catiónica para impregnación de rompimiento lento*, a una proporción de 1.5 lts/m² según marque el laboratorio, teniendo en cuenta el tipo de materiales que constituyen la base, a una temperatura de 60°C, cuya aplicación es a través de una petrolizadora.

El material de la impregnación, es un producto de baja viscosidad y cuya propiedad de la base, es absorberla, para que se logre así una penetración de 3 a 5 mm, con el objeto de evitar la introducción del agua y humedades a la base y capas inferiores, impidiendo su oxidación. Una vez que se ha aplicado el riego de impregnación y dejarlo reposar 48 horas como mínimo, en condiciones ambientales óptimas (sin lluvia ni humedad en el medio ambiente) y sin permitir el rodamiento, se procede a aplicar las carpetas asfálticas.

Derivado de la nueva tecnología existente en el país y siguiendo las normas y especificaciones oficiales, dependiendo del nivel de carretera o pista aérea, existe una capa dentro del pavimento (multicapa) que sustituye a la base hidráulica, denominada Base Negra, cuya composición consiste de un agregado pétreo con tamaño de 1½" y finos elaborado en planta y mezclado con material asfáltico bituminoso AC-20, que en la práctica actual, se han obtenido resultados excelentes en espesores de hasta 30 cms. en dos capas de 15 cms.

Las carpetas asfálticas deberán cumplir con altas especificaciones y normas, que van desde el tipo de agregado hasta la temperatura óptima de tendido y compactación. Existen hoy en día en el mercado de la construcción de pavimentos, varios tipos de carpetas. Una de ellas, por carácter de importancia y uso, es la carpeta tipo 2 riegos de sello. Que consiste en realizar un barrido y un riego de impregnación previo, con las mismas características que ya mencionamos, posteriormente se aplica un riego de liga con emulsión catiónica tipo RR-2K a una proporción de 1.8 lts/m² y 60°C de temperatura, aplicando sobre éste riego el tendido del material pétreo 3-A, cuya nominación significa, que es un material de gravilla de

tamaño 3/8" compactado con compactador neumático estático; posteriormente se realiza la misma operación para el siguiente riego, produciendo así un pavimento, que por obvias razones, tiene restringida su vida útil, ya que es de bajo costo y el proceso constructivo es pobre; sin embargo, tiene utilidad en pavimentos de baja transitabilidad.

Los espesores en las carpetas asfálticas, variarán según el proyecto. Y dependerá sustancialmente del cuerpo de las terracerías y la calidad de las mismas. Estos espesores van desde 5 cms. compactos hasta 12 cms. compactos, dependiendo del aforo vehicular en carreteras, así como del número de cubrimientos en una pista aérea.

Otro tipo de carpeta, la más común hoy en día y cuya tecnología sigue avanzando, creando otros tipos derivados de ésta misma, es la producida en planta fija y a temperaturas que varían desde los 160°C hasta más de los 200°C denominada Carpeta Normal, que son las Mezclas Asfálticas en Caliente, constituidas de materiales pétreos, basálticos o calizas y finos, mezclados con el aglutinante de material asfáltico, derivado del petróleo. Dichos materiales pétreos se clasifican en materiales que hayan tenido tratamientos previos, como son la disgregación, cribado, trituración y lavado. Cabe mencionar, que también existen carpetas que actualmente son de poco uso, que se fabrican en frío, en el sitio de utilización, de bajo costo, pero también de baja calidad, ya que por experiencia su vida útil queda limitada por el tránsito, máxime si se construyen en zonas con alta precipitación pluvial.

El material pétreo que forman las carpetas asfálticas, deberán de cumplir con la granulometría que se fija en las especificaciones generales de construcción y por el laboratorio, según las gráficas de la Fig. 13 y Fig. 14

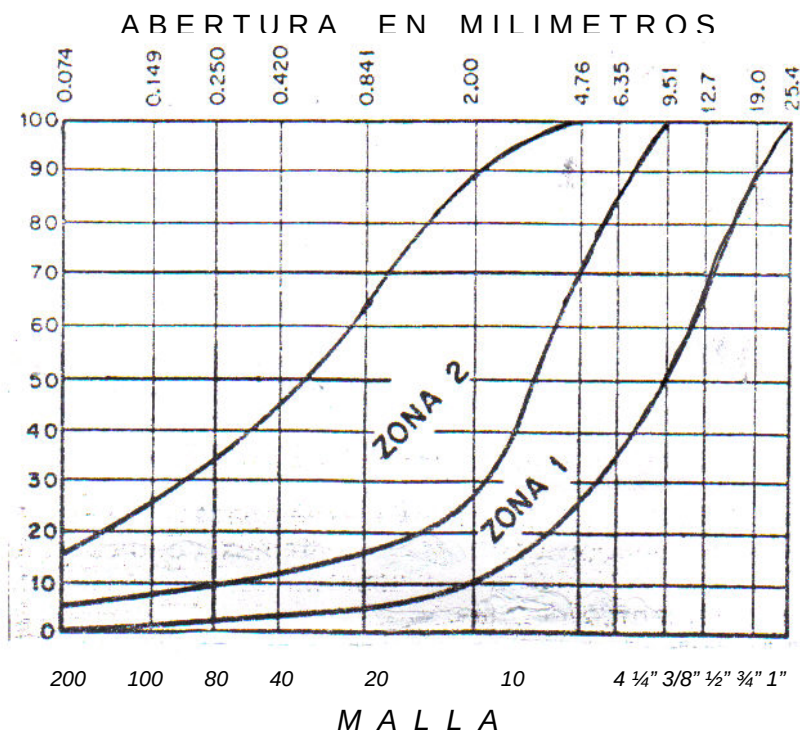


Fig. 13. Zonas de especificaciones granulométricas para materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas.

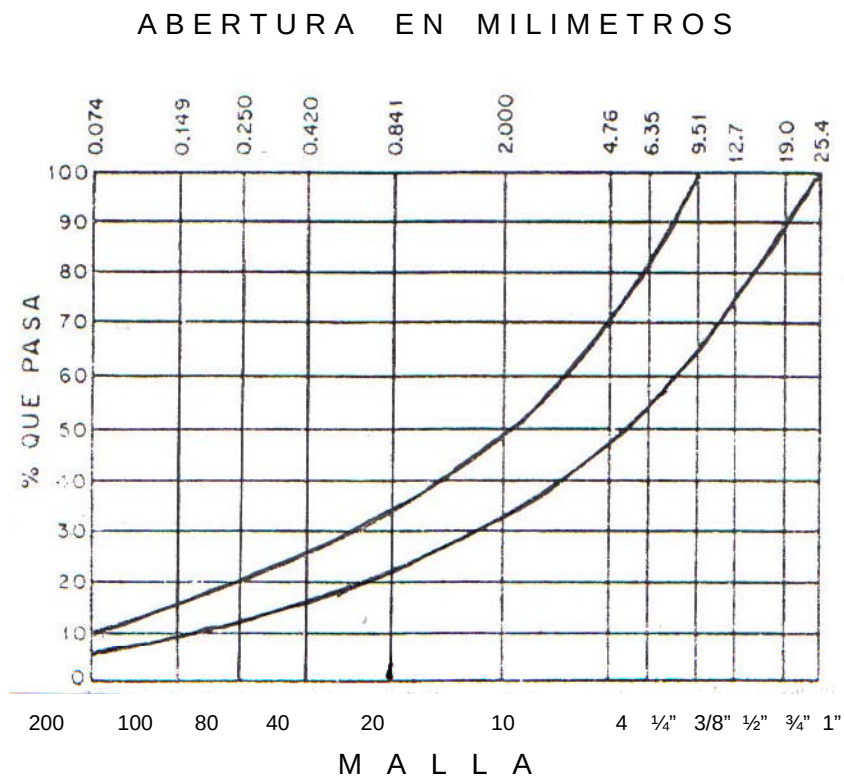


Fig. 14. Zona de especificación granulométrica para materiales pétreos que se emplean en concretos asfálticos.

En las carpetas asfálticas denominadas normales, el agregado pétreo es de tamaño $\frac{3}{4}$ " y materiales finos, mezclada con un producto asfáltico bituminoso denominado AC-20 producido exclusivamente por PEMEX. El manejo de este material bituminoso, procedente de las refinerías a la planta productora de la mezcla, se hace a través de depósitos con capacidades de 45 M3 y en unidades térmicas, para conservar la temperatura, ya que este material es de alta viscosidad y su manejo suele ser delicado. Una vez reunidos los elementos que intervienen en la fabricación de la mezcla, se fabrican dichas mezclas a temperaturas que como ya se dijo anteriormente, oscilan entre los 140°C y 180°C aproximadamente, dependiendo de factores como suelen ser el tipo de pétreo, de finos y la temperatura ambiente.

La mezcla asfáltica producida en planta en caliente, se transporta al sitio de la obra en unidades que mantienen la temperatura para su debido tendido, siendo ésta de cerca de 140°C. El tendido de esta mezcla, se lleva a cabo a través de extendedora de asfalto o finisher y una compactación con rodillo liso y neumático a temperaturas que oscilan entre los 60°C y 80°C.

Antes de realizar el tendido de la carpeta y después de realizar el riego de impregnación, se aplica el riego de liga con material emulsión catiónica de rompimiento rápido tipo RR-2K, en una proporción de 0.8 lts/m², cuya función es la de un ligante entre el riego de impregnación y la mezcla asfáltica.

Debe de tomarse en cuenta que para los diferentes espesores de la carpeta que fija el proyecto, el abundamiento del material que normalmente oscila entre el 25% y 30%, para cumplir con el espesor compacto deseado.

La tecnología de vanguardia con la que hoy se cuenta en la industria de los pavimentos, específicamente en las carpetas asfálticas, abre una gama de opciones para utilizar asfalto modificado o con polímeros. Esto significa un avance considerable en el comportamiento de los pavimentos, ya que son más durables, más estables para la distribución de cargas aplicadas a través del tráfico en las redes carreteras y de aeropistas.

Obviamente, el precio incide directamente en el costo del pavimento hasta de un 30% más. Sin embargo, habría que analizarlo ampliamente, ya que al aplicar esta tecnología, significa

menor mantenimiento y conservación en los pavimentos con carpetas normales. La diferencia fundamental de este tipo de carpetas tecnificadas, es el contenido de polímeros en las mezclas y otra característica, es que son mezclas fabricadas en planta, en sitio en caliente, que tienen una temperatura que va de los 180°C a los 200°C, la distancia entre la planta y el lugar de aplicación de la mezcla con éstas características, puede variar hasta arriba de los 200°C, es decir, entre más lejos esté el tramo del tiro, deberá incrementarse razonablemente la temperatura hasta un límite permisible, según las características de los materiales, para no perder propiedades de la mezcla.

Como ya mencionamos anteriormente, en la conservación y mantenimiento de los pavimentos, el concepto de las microcarpetas toma un papel importante, ya que son utilizadas para rehabilitar la carpeta asfáltica existente logrando conservar la vida útil del pavimento sin necesidad de reconstruirlo. Es factible llevarlo a cabo sin levantar ninguna carpeta asfáltica, cuando se realiza antes de un desgaste notable.

Estas micro carpetas se forman de materiales pétreos de espesores que fluctúan entre 2 y 2.5 cms., utilizando los ligantes convencionales, dependiendo de la carpeta donde se deberá aplicar. En ésta ocasión mencionaremos los tipos *Open Grade* y *Slurry Seal (mortero asfáltico)*. Generalmente los pétreos utilizables en este tipo de carpetas, son las que cubren un espesor desde un tamaño de 1/4" hasta 1/2 "

Lo anterior implica el reconocimiento de que los métodos de diseño tradicionalmente utilizados están muchas veces limitados, por lo tanto, las tecnologías actuales tratan de proveer las herramientas necesarias para mejorar el comportamiento de los pavimentos e incrementar así la duración de su vida útil, para lo cual, deberá de mejorar las condiciones de transporte, sin ocasionar mayores incrementos en los recursos financieros.

En el tema de los asfaltos se deberá considerar que el mejoramiento del comportamiento de los pavimentos, estará sujeto a un programa de investigación que permita aumentar el conocimiento de las propiedades físicas, químicas, reológicas y mecánicas, de cementos y concretos asfálticos. Los resultados de ésta investigación deberán tener especificaciones para ligantes asfálticos, desde el punto de vista del comportamiento esperado del pavimento, así como de los métodos y equipos de ensaye adecuados. Esto nos lleva a diseñar un sistema computacional para el diseño de mezclas asfálticas, con base también en el

comportamiento esperado, incluyendo métodos y equipos de ensaye. Proponer una metodología para la evaluación de asfaltos modificados, dado lo complejo de la química de los asfaltos, las especificaciones correspondientes actuales, han sido desarrolladas hasta ahora, tomando como base pruebas para la determinación de propiedades físicas únicamente.

Ejemplo de esas pruebas son las de penetración, viscosidad y ductilidad, que se realizan en condiciones de temperatura estándar. La correlación entre esas pruebas y el comportamiento de un pavimento es completamente empírica, por lo que se requiere que transcurra mucho tiempo antes de poderla validar adecuadamente. Un ejemplo de lo anterior lo constituye la prueba de penetración, esta prueba da una indicación de la rigidez del asfalto, pero una relación entre penetración y comportamiento, no se ha podido obtener por la experiencia.

Otra limitación de los ensayos actuales es que los resultados no cubren el rango completo de temperaturas típicas en pavimentos. Por ejemplo, aunque la viscosidad es una propiedad fundamental de flujo, el ensaye provee solo información del comportamiento viscoso a altas temperaturas ya que la prueba se realiza a 60°C, 180°C y 200°C. Del mismo modo, el ensaye de penetración solo describe la consistencia del asfalto a temperaturas medias (25°C). El comportamiento elástico del asfalto a bajas temperaturas no puede predecirse realísticamente a partir de esa información.

Por ejemplo, se ha reportado que las especificaciones actuales para asfaltos, basadas en viscosidad y penetración, pueden clasificar diferentes productos en una misma categoría, aún cuando tengan distintas características de comportamiento, en lo referente a la deformación permanente y a fracturamiento por fatiga. Puede haber asfaltos con la misma consistencia a bajas temperaturas pero diferentes a altas temperaturas. Algunos asfaltos únicamente pueden coincidir en el valor de la consistencia a 60°C. Como esos asfaltos se clasifican actualmente en una misma categoría, se puede esperar erróneamente, que tengan las mismas características durante el proceso de construcción y el mismo comportamiento en condiciones climáticas diferentes.

DRENAJE EN UN PAVIMENTO ASFALTICO.

En la práctica de los pavimentos, la experiencia nos ha demostrado que el agua es el más importante enemigo a vencer. Tanto en una carretera como en un aeropuerto, es vital prevenir el buen drenado de agua pluvial o subterránea a través de cunetas revestidas o de filtros o alcantarillas, bordillos, lavaderos, entre otros, que puedan contribuir a que en primer lugar, no existan filtraciones debajo del pavimento ni encharcamientos superficiales, que aparte de vulnerar la seguridad, dañan la estructura del pavimento. En la figuras 15 y 16 se muestra la sección en corte de un pavimento donde se representa la disposición más conveniente de las cunetas.

Es significativo mencionar que los pavimentos cuentan con una pendiente longitudinal y transversal, aparte del aspecto seguridad, también para verter el agua a esa infraestructura de cunetas y de obras complementarias para lograr el vertido por gravedad natural para eliminar el agua suficiente del pavimento.

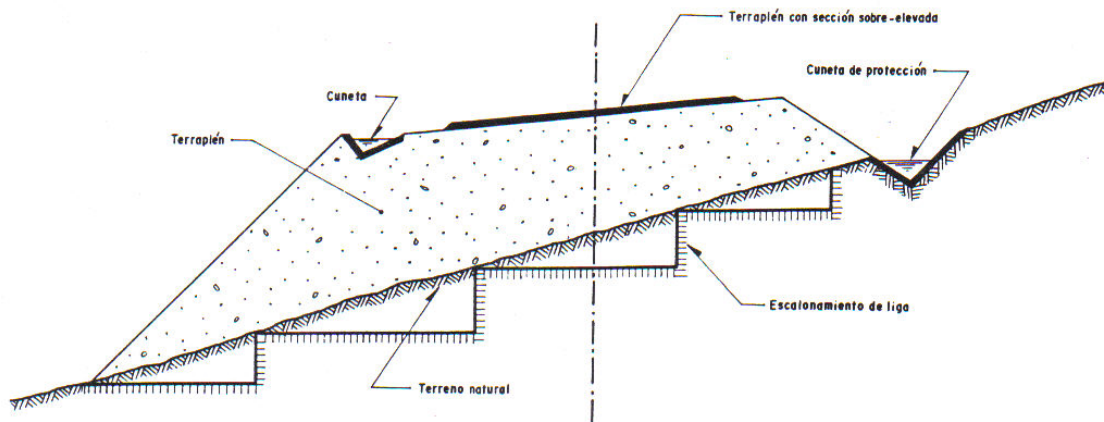


Fig. 15. Cunetas en secciones de terraplén.

Un aeropuerto debe contar con áreas de operación bien drenadas, con suficiente estabilidad para permitir movimientos seguros de las aeronaves bajo cualquier condición de tiempo. El diseño de un drenaje adecuado para un aeropuerto, es un problema importante de ingeniería, dado que involucra áreas extensas, variedad en las condiciones de los suelos,

pendientes relativamente pequeñas, corrientes de aguas superficiales y concentración de desagües.

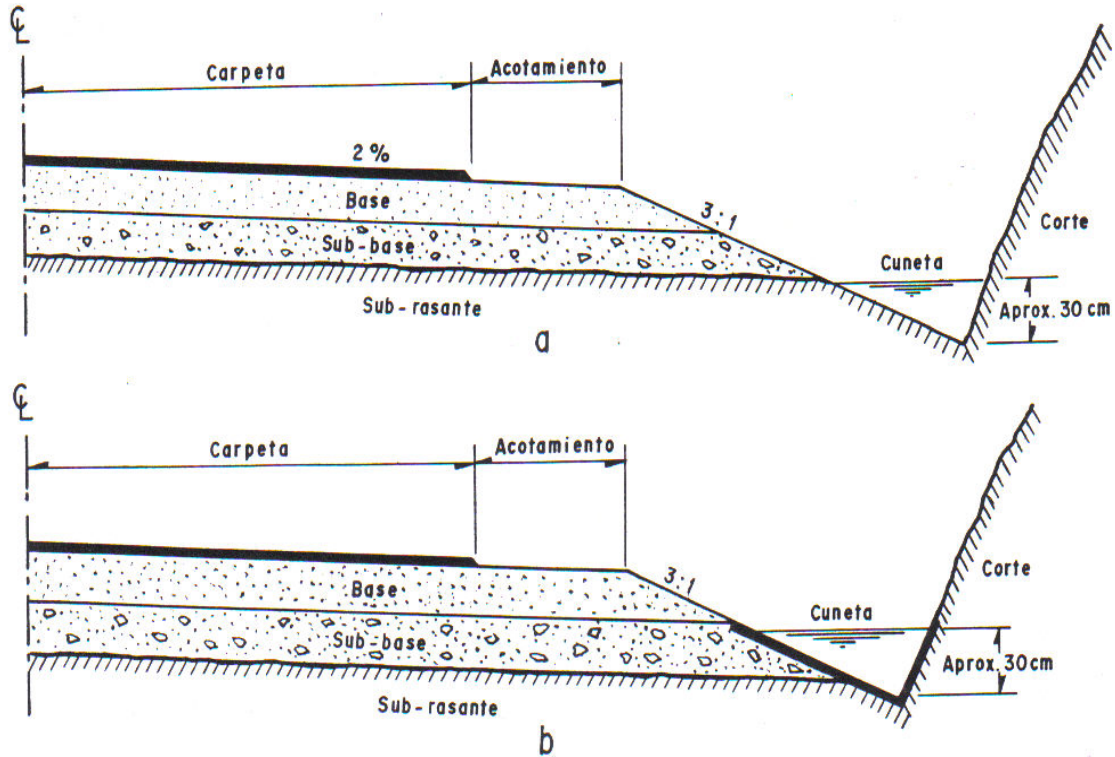


Fig. 16. Disposición más conveniente de la cuneta, respecto al pavimento. Sección corte, sin subdrenaje.

Es significativo mencionar que los pavimentos cuentan con una pendiente longitudinal y transversal, aparte del aspecto seguridad, también para verter el agua a esa infraestructura de cunetas y de obras complementarias para lograr el vertido por gravedad natural para eliminar el agua suficiente del pavimento.

Un aeropuerto debe contar con áreas de operación bien drenadas, con suficiente estabilidad para permitir movimientos seguros de las aeronaves bajo cualquier condición de tiempo. El diseño de un drenaje adecuado para un aeropuerto, es un problema importante de ingeniería, dado que involucra áreas extensas, variedad en las condiciones de los suelos, pendientes relativamente pequeñas, corrientes de aguas superficiales y concentración de desagües.

El sistema de drenaje puede ser construido antes o durante las operaciones de nivelación, debido a que tanto la nivelación como el drenaje están interrelacionados. Un sistema de drenaje no puede esperarse que funcione apropiadamente a menos que el área del aeropuerto haya sido correctamente nivelada para evitar que la superficie no esté integrada al sistema. En ausencia de una adecuada estabilización del pavimento, el drenaje no puede asegurar un aeropuerto útil en todo tiempo, ya que pueden presentarse cortos intervalos de desuso.

La amplitud del área que debe ser drenada en un aeropuerto promedio, requiere de un sistema de drenaje diseñado económicamente para realizar su función y justificar ampliamente la inversión realizada. Los principios de ingeniería deben de aplicarse cabalmente en la utilización de todos los datos disponibles, tales como: mapas topográficos, reporte de suelos, de terminación de tablas sobre intensidad, frecuencia y duración de las precipitaciones pluviales, reportes de clima y temperatura, y naturaleza de las áreas circunvecinas de un sitio particular en estudio.

La topografía del sitio y las áreas circundantes afectan el proyecto o el diseño final de las calles de rodaje, zonas de Taxco, y edificios y terminales. La localización de estas instalaciones tendrán una influencia en la nivelación y la extensión del drenaje requerido. Es importante que la nivelación del aeropuerto sea tal que los acotamientos y las pendientes drenen hacia afuera de las pistas, calles de rodaje y calles de taxco, y en general de todas las calles pavimentadas. Después de que las elevaciones finales en el aeropuerto han sido terminadas, todas las corrientes de agua superficiales que concurren a un sitio, deben ser interceptadas y dispuestas de tal manera que cualquier depresión o punto bajo existente en el sitio debe ser drenado y toda la superficie de la pista debe ser liberada de corrientes, mismas que deben ser acumuladas y dirigidas hacia las salidas adecuadas como se ilustra en la siguiente Fig. 17

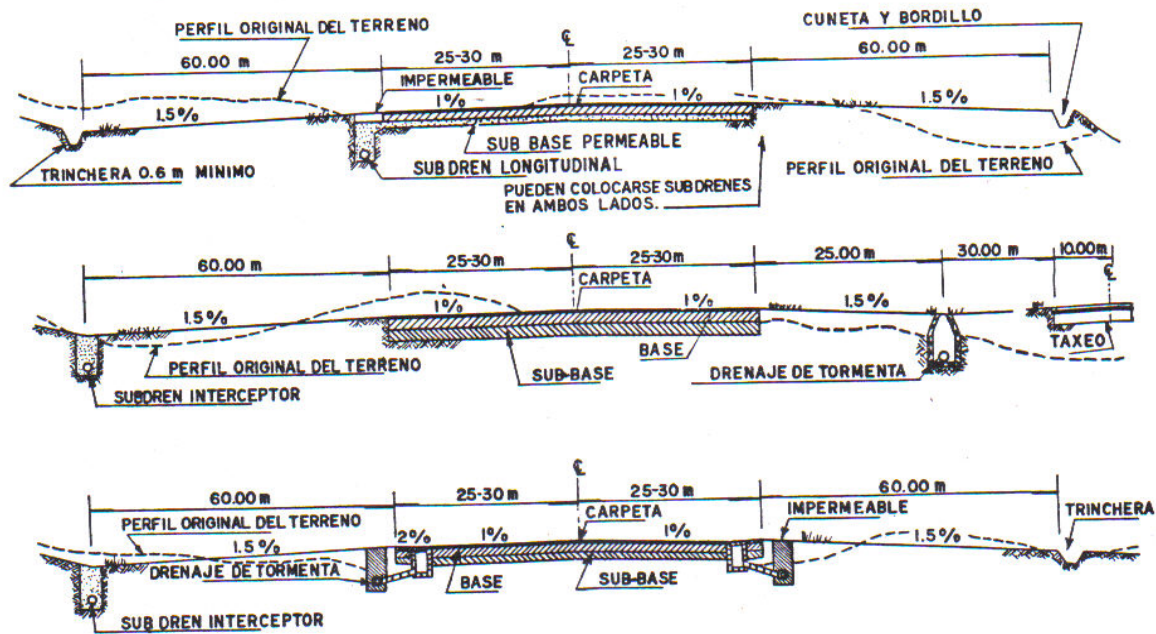


Fig. 17. Instalaciones típicas de subdrenaje en aeropistas.

Suficientes pruebas deben ser tomadas para identificar el tipo de suelo debido a la textura, permeabilidad y capilaridad, ya que todas ellas tienen un efecto pronunciado sobre el drenaje debido a su efecto en la estabilidad de los suelos y sobre el diseño final de los aeropuertos, la tabla con datos relativos al agua, debe ser determinada de manera precisa y completa para el área en su totalidad. Cuando existe una completa tabulación del agua, debe prevenirse o tomarse en cuenta alzas o bajas en el nivel final del pavimento.

En el diseño de un sistema de drenaje, es importante determinar la precipitación pluvial esperada en el sitio del aeropuerto. Datos de intensidad-frecuencia y precipitación pueden ser obtenidos de diversas fuentes. Estas fuentes pueden ser consultadas sobre estadísticas disponibles para una determinada localización, porque todos los cálculos para el diseño del drenaje por intensidad-frecuencia, intensidad-duración, frecuencia-duración y datos complementarios, deben estar basados en récords recientes de precipitación.

Datos climatológicos disponibles deben ser estudiados, especialmente máximas y mínimas temperaturas, durante la estación que se presenten congelamientos por bajas temperaturas

y por el deshielo en su caso.

El propósito del drenaje en un aeropuerto es eliminar el agua la cual puede retardar cualquiera de las actividades necesarias en el mismo, así como afectar la seguridad y la operación eficiente del aeropuerto. El sistema de drenaje debe coleccionar y remover las corrientes de agua superficiales fuera de cada área, remover excesos de aguas subterráneas, aún los mínimos escurrimientos y proteger todas las pendientes de la erosión.

El drenaje natural normalmente no reúne estos requerimientos. Las facilidades que se construyan deben ser suficientes para satisfacer las necesidades presentes y las futuras que incluyen la ampliación del sistema. Esto puede significar que la instalación de una proporción de un sistema de drenaje para complementar el drenaje natural en el sitio o bien puede requerir un sistema completo para drenar el área completa del aeropuerto. Un apropiado conocimiento de todos los factores que contribuyen a la construcción del drenaje, determinan la amplitud de las facilidades requeridas en cada caso particular.

Un drenaje inadecuado puede causar serios peligros al tránsito aéreo en los aeropuertos y en las carreteras. Las mismas peligrosas consecuencias de un sistema inadecuado de drenaje, son la saturación de la sub-base y base, el daño por erosión en las pendientes, la pérdida de rugosidad del pavimento, dado la cantidad de agua que puedan acumular, en otros.

INFORMACION BASICA REQUERIDA PARA EL ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DRENAJE.

- 1) Un mapa que contenga la zona del aeropuerto o carretera y las áreas adyacentes.
- 2) Un trazo preliminar del drenaje que se apoya en la ubicación de las pistas, calles de rodaje, accesos y áreas de edificios.
- 3) Todos los datos sobre precipitación pluvial, tales como frecuencia, intensidad y duración de tormentas. Curvas de intensidad-duración deben ser elaboradas para tormentas que se presenten con frecuencias periódicas (5 años por ejemplo).

- 4) Croquis conteniendo los perfiles de los ejes de las pistas y caminos, calles de rodaje y de acceso a ciertas áreas, indicando la sección transversal.
- 5) Perfiles de los tipos de suelo, basados en sondeos, incluyendo datos sobre los niveles freáticos.
- 6) Datos de temperatura (máximas y mínimas).
- 7) Los suelos, así como récords de corrientes superficiales en áreas que estén drenadas próximas a la zona del aeropuerto, y que tengan características y suelos similares.
- 8) Datos necesarios de tipo hidráulico en lo relativo a equipo, materiales, etc. que puedan ser suministrados por los fabricantes.

Reunida toda esta información se procede a realizar todos los estudios de campo.

Como puede observarse, el reconocimiento de las especificaciones de un proyecto de construcción de un pavimento es muy amplio y delicado para el ingeniero. Quiero demostrar que el método de construir un pavimento no se basa meramente en la teoría, sino en la práctica de conocer las propiedades físicas, químicas de los materiales que intervienen en el proceso constructivo y el de reconocer el sitio de la construcción.

PISTAS DE LOS AEROPUERTOS.

Una vez decidida la necesidad y conveniencia de construir un aeropuerto para una región determinada, se procede a la localización del sitio apropiado para el aeropuerto. La localización del sitio, se basa en dos grandes factores, que son los factores de seguridad y los factores económicos.

Los factores de seguridad siempre deberán predominar sobre los económicos y se refieren a los conceptos que afectan la seguridad de las operaciones aeronáuticas y los factores económicos se refieren a los conceptos que afectan el costo de la construcción conservación, así como el costo de la administración y operación del mismo.

El primer concepto que debe considerarse en un aeropuerto, es la situación de los obstáculos con respecto al mismo. Dentro de lo posible, se debe localizar el aeropuerto teniendo el mínimo de tiempo en que el mismo este bajo mínimos de techo y visibilidad, para esto debe tenerse en cuenta, nieblas, nubes bajas, tolvánicas y la posibilidad de humos industriales.

Se debe localizar el sitio donde no existan vientos irregulares en forma de remolinos, corrientes ascendentes o descendentes, vientos arrachados o muy variables en dirección o intensidad. Debe aclararse que la dirección de los vientos dominantes, afectan el trazo y la orientación de las pistas, pero no directamente la localización del sitio del aeropuerto, sin embargo, al afectar los vientos dominantes la orientación de las pistas, afecta la ubicación de las zonas o áreas de aproximación y de transición y por lo tanto, afecta la localización posible del aeropuerto con respecto a los obstáculos de la región.

También afecta la situación del sitio con respecto a aeródromos o aeropuertos existentes, así como también respecto a la población considerando la extensión futura de la misma. En general las pendientes longitudinales excesivas disminuyen la seguridad de las operaciones, lo cual puede hacerlas prohibitivas o pueden afectar fuertemente la longitud requerida de las pistas.

En general, es difícil catalogar y por lo tanto reglamentar, todos los factores que afectan la seguridad de las operaciones; en cada caso deberá efectuarse un estudio detenido de las operaciones aeronáuticas, considerando trayectorias de vuelo, tanto alrededor del aeropuerto como en ruta. En las trayectorias de tránsito, dentro de las zonas de superficie horizontal y cónica, debe evitarse que el avión pase más cerca de 100 metros, medidos horizontalmente y 15 metros medidos verticalmente a cualquier obstáculo. Esto debe hacerse sin obligar al avión a efectuar virajes o maniobras peligrosas, exceptuando dentro de los linderos del aeropuerto, adonde se puede disminuir la distancia horizontal a 60 metros.

No existe una distancia mínima reglamentaria entre aeropuertos, pero es recomendable que las superficies horizontales y cónicas no se traslapen, esto obliga a una distancia mínima entre centros geométricos del aeropuerto de:

a).- 12,000 metros para aeródromos cuya clave de pista sea A ó B.

b).- 10,000 metros para aeródromos cuya pista principal sea clave C ó D.

c).- 8,000 metros para aeródromos cuya pista principal sea clave E ó menor.

En general, se busca un terreno lo más plano posible, pero con suficiente pendiente (relativamente baja) para facilitar el drenaje del terreno. Esto, en particular, para que se haga el mínimo movimiento de tierras requerido para dar las secciones y pendientes del proyecto que cumplan con las especificaciones geométricas reglamentarias y que permitan un drenaje efectivo de las pistas y terreno en general.

Al considerar el movimiento de tierras requeridas, debe tomarse en cuenta no solamente la cantidad de corte y relleno necesario, y los acarreos correspondientes, sino, también las características de la tierra por mover, es decir, es preferible un sitio donde se requieran cortes en tierra común, sobre un sitio donde los cortes sean total o parcialmente en roca suelta o fija. En aeródromos grandes, sobre todo, debe disminuirse al mínimo, los rellenos sobre las áreas pavimentadas, dado que, con el equipo de consolidación normalmente disponible, es imposible evitar asentamientos del pavimento, bajo carga de aviones de 20 o más toneladas.

Desde el punto de vista del drenaje, lo ideal es un terreno que tenga una pendiente entre 0.25 y 1% normal a la dirección de la pista principal. En todo caso, deberá estudiarse hacia donde podrán drenarse las aguas pluviales que caigan dentro del aeropuerto, debiendo ser este drenaje rápido y eficiente.

Otro concepto que debe considerarse, es el Valor Relativo de Soporte de las terracerías del sitio por escoger así como su proximidad y acceso fácil a bancos de préstamo para materiales de la subrasante, sub-base, base hidráulica y plantas de asfalto para las carpetas asfálticas. En otras palabras, el sitio óptimo de construcción es el que tenga el Valor Relativo de Soporte mayor; siempre y cuando las terracerías no sean demasiado difíciles o costosas de trabajar, la distancia de acarreo de los materiales, tanto de los agregados como del agua utilizada en los diferentes procesos, de no ser así, el costo de la obra puede aumentar enormemente.

Otro factor económico es la necesidad de localizar el aeropuerto lo más cercano posible a una carretera ya existente, disminuyendo el camino de acceso que debe construirse.

Tanto en el desmonte como en las terracerías tipo y Valor Relativo de Soporte del terreno existente, etc., deberá considerarse no solamente las pistas y plataforma del aeródromo, sino también las áreas de edificios y hangares, áreas de almacenamiento y distribución de combustible y lubricantes, zonas para antena de radio-ayudas, caminos de acceso, zonas de estacionamiento y circulación de vehículos, etc.

Otro costo que interviene en la construcción es el costo del sistema de drenaje y de las áreas pavimentadas del aeropuerto. En general, es necesario construir una contracuneta en todo el lindero aguas arriba del aeródromo con el objeto de evitar que las aguas pluviales que caen en los terrenos adyacentes al mismo, lo inunden. Esta contracuneta, consiste en una zanja de dimensiones mayores, abierta, que de tener taludes verticales, deberá quedar de preferencia a 200 metros mínimo lateralmente a la pista y 300 metros mínimo en la prolongación de las mismas. Si se hacen los taludes tendidos de 4:1 o mayor, se pueden acercar estas zanjas a las pistas, pero nunca deberán penetrar a la franja o faja de aterrizaje. En segundo lugar, generalmente se construyen zanjas abiertas de taludes tendidos en ambas orillas de la franja o faja de aterrizaje. Estas tienen por objeto captar y despejar las aguas pluviales que caen en la pista y en las franjas laterales de la misma.

A estas zanjas hay que darles salida y debe buscarse esta salida, a manera de disminuir al mínimo el paso, bajo las áreas pavimentadas del aeropuerto. Estas alcantarillas bajo las pistas, deberán tener sus entradas y salidas a 55 metros mínimo de las orillas del pavimento de las pistas de aterrizaje y de preferencia, hasta la orilla de la faja. En el caso de pistas de rodaje, esta distancia mínima, deberá ser de 10 metros y de preferencia de 15 metros.

Todo aeropuerto debe responder a una forma que esté de acuerdo con las necesidades del mismo. La más adecuada es la que permite el aterrizaje y despegue en las condiciones más favorables, es decir, en cualquier dirección y sin vientos, que hacen máximas las longitudes necesarias para las tomas de tierra y despegues. Parece, a primera vista, que esta forma debiera ser la circular, y a ésta característica respondieron algunos antiguos trazos en aeropuertos en el mundo.

La preocupación de disminuir la superficie del campo para obtener una mayor economía, condujo a una serie de soluciones, y entre ellas pueden citarse el triángulo curvilíneo equilátero, con un ahorro de superficie sobre la solución circular, para las mismas dimensiones de carreras de despegue, de un 27%.

No deja de ser el razonamiento anterior, un estudio teórico, ya que en la práctica el avión necesita para operar no una línea, sino una franja de anchura considerable, por lo que éstos estudios no son aplicables a la solución de un aeropuerto. Se pensó posteriormente en la elipse, cuyo diámetro mayor tuviera una dimensión tal, que fuera utilizable en los despegues sin vientos y el eje menor con viento mínimo de 16 Km/hora de velocidad. De este modo, en cualquier dirección tendría suficiente longitud para despegues.

Al tener que estar pavimentadas en los grandes aeropuertos y suficientemente compactadas en el resto de las zonas de despegue y aterrizaje, y no habiendo inconveniente en que las direcciones de toma de tierra y despegue formen ciertos ángulos con la dirección de los vientos, se encauzaron las operaciones en un número limitado de direcciones, resultando con ello, aeropuertos de una o varias franjas y pistas de tomas de tierra y despegues.

Es así como se determinó y concluyó que el número de franjas depende del tráfico a cubrir y de la dirección de los vientos. El aumento de velocidad y tonelaje lleva consigo la menor influencia de estos en las tomas de tierra y despegues, pudiéndose prever que los aeropuertos actuales, constan de una sola dirección de operaciones y de dos en algún caso extraordinario.

El número de franjas se encuentra ligado sobretodo en los pequeños aeropuertos a la frecuencia e intensidad de los vientos, estando los aeropuertos de una sola franja, reservados para aquellos lugares en que pueda cubrirse con ella el 95% de los días. Cuando no ocurra esto, habrá un mínimo de dos franjas en ángulo recto de 40 metros de ancho cada una o en forma de V abierta o tres, orientadas de tal forma que permitan operar en direcciones que formen ángulos tales con la dirección del viento, que los componentes transversales de los mismos, permitan utilizar los aeropuertos el 95% de los días.

Conduce esta necesidad a que en los lugares y la frecuencia de la intensidad de los vientos lo exijan, la solución deberá de ser de tres franjas a 60°. Como una opción idónea, se puede

adoptar la de cuatro franjas, una de ellas, orientada a la dirección de los vientos reinantes y las otras, formando ángulos de 45ª entre sí, con lo que la incidencia de vientos sobre el avión en las operaciones será de 22ª30`y de efecto menor. De este modo, se proyectaron los aeropuertos tipos antiguos de Chicago, USA y de Ámsterdam, en Holanda.

Debe observarse que las soluciones simétricas de las pistas, no serán casi nunca las mejores y que el estudio de las frecuencias e intensidades de vientos, conducirá, en general, a soluciones de cuatro pistas, en la que los ángulos que forman unas con otras, no serán probablemente de 45ª, pero tampoco pasarán de los 60ª. Así se realizaron la mayoría de los aeropuertos proyectados en años anteriores, como son los de Washington, USA, Estocolmo, Suecia, La Guardia en Nueva York y Barajas en España.

PISTAS EN AEROPUERTOS.

Como dijimos anteriormente, el ancho del conjunto de dos pistas, será de 40 metros cada una y la distancia será como sigue:

Distancia mínima entre ejes de dos pistas paralelas en aeropuertos tipo A o B... 210 metros

Distancia mínima entre ejes de dos pistas paralelas en aeropuertos tipo C... .. 150 “

Distancia mínima entre ejes de dos pistas paralelas en aeropuertos tipo E o F... 120 “

Las longitudes de las pistas, están íntimamente ligadas a las carreras de despegue y aterrizaje de los aviones, así como a las características de sus maniobras en las proximidades de los aeropuertos, pero también a las velocidades de los aviones. El cálculo para determinar las longitudes de estas pistas, es matemático, en la que interviene factores como el coeficiente de rodadura, la velocidad constante y la carga sobre las ruedas, así como la influencia de la altura sobre el nivel del mar, la temperatura del medio ambiente del sitio, entre otras; como no es tema de este trabajo, solamente mencionaremos que la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), ha dictado normas para corregir las longitudes básicas, aumentando el 7% por cada 300 metros de altitud que tenga el aeropuerto considerado y a su vez, esta longitud debe corregirse aumentando el 1.0% por cada grado centígrado que la temperatura de referencia del aeropuerto, exceda de la temperatura estándar correspondiente a aquella altitud. La temperatura de referencia del aeropuerto, es la temperatura media mensual de las temperaturas medias diarias

correspondientes al mes más caluroso del año, más un tercio de la diferencia que existe entre esta temperatura media mensual y la media mensual de la temperatura diaria máxima del mismo mes.

También la OACI indica que cuando, la corrección total por elevación y temperatura es superior al 35%, las correcciones necesarias deben obtenerse mediante un estudio concreto. La corrección por pendiente de pista deberá hacerse aumentando el 10% por cada 1.0% de la pendiente efectiva de la pista.

Las pendientes de las pistas están limitadas longitudinalmente, porque prolongan las carreras de despegue y aterrizaje, llegando a hacer prohibitivas las operaciones cuando pasan de un cierto límite; transversalmente dan lugar a derrapes que hay que evitar por los peligros que encierran. No hay por esto que pensar que el ideal es que los campos sean horizontales, porque de esta manera, se imposibilita la evacuación de las aguas de lluvia, cosa necesaria en todos los casos y por otra parte, cuanto más se adapten al terreno natural, mayor economía se obtiene.

En los aeropuertos A,B y C, se toma como máxima pendiente longitudinal media, la del 1% entre los puntos extremos de la pista, no debiendo pasar en ninguna del 1.25% en los aeropuertos de tipo A o B, y del 1.5% en los tipos C. En el resto de los aeropuertos, puede llegarse al 2%. En las franjas se permiten pendientes longitudinales de 1.75 al 2%.

Transversalmente las pendientes en las pistas deben ser las mínimas que permitan la evacuación de aguas, dependiendo, por lo tanto de la naturaleza de las rasantes empleadas. Para pavimentos de concreto hidráulico, se puede llegar a 0.5% en vertientes menores de 30 metros; en cambio, para pavimentos asfálticos, no debe bajar del 1%. No obstante, debe recomendarse la pendiente transversal máxima del 2%.

En cuanto a las franjas puede admitirse del 2.5 al 3.0% en las zonas de parada y en las que estén a menos de 75 metros del eje de la pista. En el resto, puede llegarse al 5%.

Generalmente, por la necesidad de acomodarse al terreno, las franjas y pistas, tendrán longitudinalmente, varias rasantes, que deberán estar unidas por curvas verticales. Para facilitar los despegues de las aeronaves, es conveniente limitar más aun, las pendientes

longitudinales en los tercios externos de las pistas cuando son desfavorables al despegue, a un máximo de 2%.

Las calles de rodaje y de salida rápida son necesarias para el traslado de las aeronaves desde su punto de estacionamiento hasta el comienzo de una pista de despegue y a la inversa, en los casos de intenso tráfico para reducir al mínimo el tiempo de ocupación de las pistas de vuelo. Su anchura mínima debe estar comprendida entre 17.5 y 23.0 metros. Si alguna calle de rodaje es paralela a una pista, la distancia mínima entre bordes, estará comprendida entre 23 y 150 metros, según la clase de aeropuerto, debiendo existir además, zonas de 16 a 30 metros entre los ejes de calles y cualquier obstáculo fijo.

Los encuentros de estas calles con las pistas en su iniciación, deben formar ángulos mayores de 90° en los primeros 30 metros, con el objeto de facilitar el tráfico. Los cruces deben evitarse, pero en los casos necesarios podrán hacerse calles y pistas con ángulos que sean superiores a 60°. Si estas calles son obligadas por el intenso tráfico para reducir el tiempo de ocupación de las pistas de vuelo, se denominan calles de salida rápida y deben permitir abandonar la pista de vuelo a velocidades de 100 Km/hora.

Las pendientes longitudinales de las calles de rodaje pueden ser mayores que las de las pistas, llegándose a admitir hasta el 3.0% en algunos aeropuertos y las pendientes transversales deben ser las mismas que en las pistas de vuelo, es decir, el 1.5% como máximo, debiendo conservar las pendientes de las pistas principales en su cruce con ellas. Los acuerdos de rasantes en los aeropuertos tipo A, B o C, deben hacerse de tal modo que la variación sea menor en 1.0% en 30 metros, y la distancia visible debe ser tal que entre dos puntos cualesquiera, situados a 3.0 metros de altura sobre la pista, y a distancia menor de 300 metros, no existan obstáculos. Siendo estas recomendaciones menos exigentes para los aeropuertos tipo D o E.

Con el fin de facilitar la circulación, es preciso que los encuentros entre calles de rodaje o entre estos y las pistas, se realicen mediante radios de curvatura adaptados a la velocidad de circulación de las aeronaves, debiendo conservarse distancias de seguridad entre ruedas y borde de pavimentos de 4.5 metros en los aeropuertos tipo A y B, de 3.00 metros en los aeropuertos tipo C, 2.5 metros en los aeropuertos tipo D y 1.50 metros en los tipo E.

Prácticamente se cumplen estos requisitos para la mayoría de los aviones con los siguientes radios:

Encuentro entre pistas y calles de rodaje o entre unas y otras...	R de 22 a 60 m
Curvas de calles de rodaje...	R de 61 a 90 m
Encuentro de calles de rodaje y estacionamiento de aviones pesados...	R de 24 m
Encuentro de calles de rodaje y estacionamiento de aviones ligeros...	R de 15 m

En la Figura 17-A se muestran las Curvas Tipo.

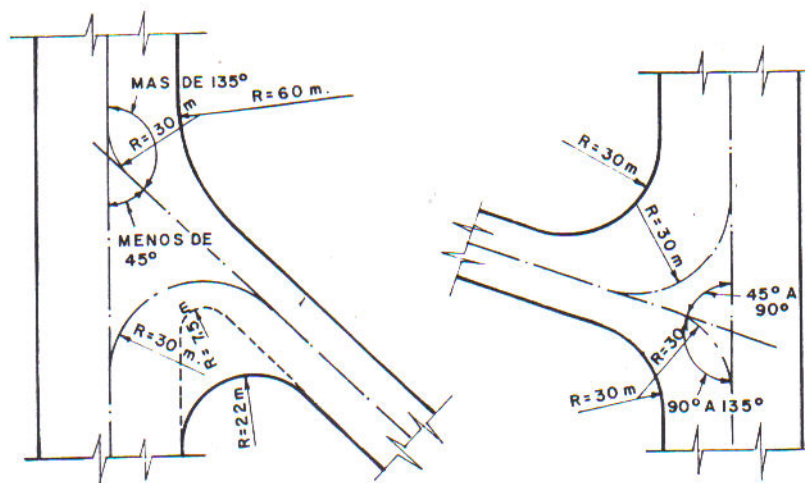


Fig. 17-A. Curvas tipo de pistas de vuelo y de rodadura para grandes aviones

El número de pistas de todo aeródromo y su orientación, deben ser tales que durante el mayor porcentaje de tiempo posible, pero nunca menor que el 95%, haya por lo menos una pista para la cual, la componente de la velocidad de viento en la superficie perpendicular a su eje longitudinal, no impida el aterrizaje o despegue de las aeronaves que el aeródromo este llamado a servir. Las estadísticas sobre el viento que se empleen, deberán comprender un periodo tan largo como sea posible, de preferencia no menor de 5 años. Las observaciones que se empleen, deberán hacerse por lo menos 8 veces al día a intervalos regulares.

Las pistas se enumeran con un número de dos dígitos correspondientes a cada umbral de pista. El número que se asigne, será el entero más próximo a la décima parte del azimuth magnético del eje de la pista medida en sentido de las manecillas del reloj a partir del norte

magnético, visto en la dirección de aproximación. Cuando esta regla dé solo un dígito, éste irá precedido de un cero.

En los aeródromos que tengan pistas paralelas, se asignará además de los números, una o más letras para designarlas entre sí, la letra o letras designadas, serán las siguientes en el orden que aparecen de izquierda a derecha al verse en la dirección de aproximación:

Para 2 pistas paralelas "I" y "D"

Para 3 pistas paralelas "I", "C", "D"

Para 4 pistas paralelas "I", "IC", "DC", "D"

Para 5 pistas paralelas "I", "IC", "C", "DC", "D".

Las señales se colocarán en cada umbral de la pista, serán permanentes y se ajustarán a la disposición indicada por las autoridades.

Los pavimentos que constituyen las pistas de un aeropuerto, tienen por misión, repartir las grandes cargas originadas por las ruedas de los aviones en superficies tales, que la carga unitaria en los terrenos, no llegue a producir su rotura.

Constan en general, de tres partes, con diferentes funciones. La primera, o capa de rodadura sobre la que apoya directamente la rueda, que además de ser estable, debe cumplir buenas condiciones para la rodadura; la segunda, o firme, que debiendo ser también perfectamente estable, tiene por misión, repartir las cargas sobre la tercera, es decir, el cimiento. Esta a su vez, reparte todavía más la carga hasta conseguir en el terreno natural, coeficientes de trabajo apropiados. En la Fig. 17-B se muestra la configuración en corte de un pavimento de las pistas en forma general.

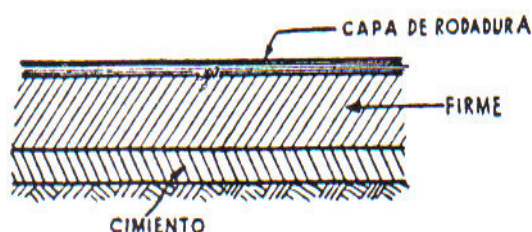


Fig.17-B. Estructura de un pavimento.

Como ya dijimos anteriormente, los pavimentos se clasifican en:

- 1).- Pavimentos flexibles.
- 2).- Pavimentos rígidos.

Los pavimentos flexibles se componen de una o varias capas de material granular, construidas a partir del terreno, en las cuales los productos naturales pueden mezclarse o no, con materiales bituminosos para obtener mayores resistencias y mejores superficies de rodaje. La capa de rodamiento, puede ser de bastante espesor a fin de reducir las cargas en el suelo.

A diferencia de los pavimentos flexibles, los pavimentos rígidos consisten en losas de concreto hidráulico que descansan sobre el terreno, bien directamente o a través de una capa de materia granular. El espesor depende de la capacidad del concreto hidráulico para absorber las cargas y repartirlas en la superficie del suelo. Cabe aclarar que también se han desarrollado tipos de pavimentos mixtos, en los cuales, sobre una capa de concreto hidráulico o pavimento rígido, se extiende otra de material asfáltico o bituminoso que actúa como capa de rodaje o rodamiento.

La elección de un pavimento, depende en primer lugar, de las condiciones del terreno natural y de la economía en la construcción, y en segundo, de las cargas a soportar, de la presión de los neumáticos y de la intensidad de tráfico, así como de la climatología y otros efectos secundarios.

Generalmente los pavimentos flexibles, son más apropiados en suelos granulares, como arenas y gravas, y en general, en terrenos de alta capacidad de carga por reducir mucho el espesor óptimo. En cambio, los pavimentos rígidos se adaptan mejor a los terrenos arcillosos y flojos, por extender la carga en gran superficie y sobre todo, en lugares expuestos a considerables cambios en el contenido de humedad. En estos pavimentos, tiene escasa influencia la naturaleza del suelo del terreno.

En la elección del tipo conveniente en cada caso, influirá de manera decisiva el factor económico, a no ser que las condiciones técnicas exijan zonas construidas con un tipo de

pavimento especial, como ocurre en la actualidad en las zonas de calentamiento de motores y de suministro de combustible.

Por otra parte, los pavimentos flexibles tienen la ventaja sobre los rígidos, de la posibilidad de aumentar la capacidad de carga, con el total aprovechamiento de la parte construida y la de poder efectuar reparaciones y recargos con suma facilidad y economía. Deben tenerse en cuenta también, las condiciones de despegue y aterrizaje de aviones, ya que según se ha visto, las longitudes necesarias, varían enormemente con la naturaleza de los pavimentos. La rotura de los pavimentos, ocurre muchas veces, a causa de las vibraciones originadas por los motores, pero casi siempre, por repetición de esfuerzos, es decir, por fatiga; se deduce este hecho, de que son las calles de rodaje, las que se rompen con más frecuencia, debido no solamente a la menor velocidad de los aviones, sino también a que el pavimento soporta enteramente la carga por no existir sustentación alguna. Por otra parte, en estas pistas existe mayor concentración de tráfico.

En los estudios de fatiga de pavimentos, se ha definido por pesada, al conjunto de cuatro operaciones de un avión tipo, equivalente a 180 toneladas de peso total, que se ha comprobado equivale al efecto de: A) 8 operaciones de avión de 85 toneladas de peso; B) 16 operaciones de avión de 50 toneladas de peso y C) 25 operaciones de avión de 16 toneladas de peso. De los ensayos efectuados sobre fatiga, se deduce que un pavimento resistirá indefinidamente si soporta 6,000 pasadas, y entonces puede considerarse permanente y su vida estimarse en 25 años como mínimo.

Si se reduce el espesor en caso de un pavimento flexible al 80%, soporta aproximadamente 700 pasadas, y si el espesor se reduce al 50%, solamente soportará 50 pasadas, por lo que únicamente puede considerarse este pavimento, como de emergencia o para actividades de auxilio. En cuanto al aumento de carga producida por efecto del par motor, se ha comprobado que alcanza al 10% del peso del avión. Existen otras causas aun no bastante conocidas, que se refieren a la velocidad de propagación de los esfuerzos en el medio plástico semi-infinito. Propagándose las tensiones por deformación de la materia y necesitando las materias plásticas algún tiempo de actuación de las cargas, para que se produzcan las deformaciones correspondientes, no cabe duda de que la propagación de los esfuerzos al subsuelo, no se produce en toda su intensidad para las cargas móviles de actuación rápida, porque las deformaciones se localizan en la superficie.

Como comprobación de los puntos anteriores, se han efectuado ensayos de carga sobre pavimentos de aeropuertos, obteniéndose que con cargas móviles, se alcanzaban en los cimientos, esfuerzos menores en un 30 a 35% a los originados por cargas estáticas con los motores en marcha.

Según la OACI, se obtendrá la resistencia de un pavimento destinado a las aeronaves de masa en la plataforma (rampa) superior a 5,700 kilos, mediante el método del número de clasificación de aeronaves-número de clasificación de pavimentos (ACN-PCN), notificando la siguiente información:

- a) El número de clasificación de pavimentos (PCN);
- b) El tipo de pavimento para determinar el valor ACN-PCN;
- c) La categoría de resistencia del terreno de fundación;
- d) La categoría o el valor de la presión máxima permisible de los neumáticos; y
- e) El método de evaluación.

En caso necesario, los PCN pueden publicarse con una aproximación de hasta una décima de número entero.

El número de clasificación de pavimentos (PCN) notificado indicará que una aeronave con número de clasificación de aeronaves (ACN) igual o inferior al PCN notificado puede operar sobre ese pavimento, a reserva de cualquier limitación con respecto a la presión de los neumáticos, o a la masa total de la aeronave para un tipo determinado de aeronave.

Pueden notificarse diferentes PCN si la resistencia de un pavimento está sujeta a variaciones estacionales de importancia.

El ACN de una aeronave se determinará de conformidad con los procedimientos normalizados relacionados con el método ACN-PCN.

Cabe mencionar que el tema de los pavimentos, es apasionante e involucra diferentes ramas tales como: mecánica de suelos, geología, hidráulica, resistencia y estructura de materiales, maquinaria para tratamientos específicos, etc. En este trabajo, trataremos exclusivamente el

tema de los procedimientos constructivos de los pavimentos flexibles como nos referimos anteriormente.

C A P I T U L O I I I

LOCALIZACION DE LOS BANCOS DE MATERIALES EN LA ZONA

Como ya mencionamos en los capítulos anteriores, el ubicar la localización de los bancos de materiales para la construcción de un pavimento asfáltico, tiene relevancia, puesto que incide en el costo de la construcción. Y forma parte primordial, contar con la información de la oferta que presentan los bancos de materiales, tanto en su clasificación como en la distancia que se tiene de los mismos con respecto al sitio de la obra. Hoy en día, con la nueva tecnología de información y la gran variedad de oferta de los materiales que componen los pavimentos asfálticos, comprende un campo amplísimo de posibilidades, ya que ha despertado en el aspecto comercial un buen negocio producir, clasificar y seleccionar los diferentes tipos de materiales utilizables para este proceso.

Lo antes dicho se convierte en uno de los problemas básicos del ingeniero. La experiencia diaria enseña que, si se da a estas tareas la debida importancia, podrían localizarse depósitos de materiales apropiados cerca del lugar de su utilización, abatiendo así los costos de transportación, como ya mencionamos, ya que estos costos suelen ser de los que más afectan los totales.

Otras veces se logrará obtener materiales utilizables en zonas que antes dependían de otras más alejadas en este aspecto. Por estas razones, no es de extrañar que la búsqueda científica y la explotación racional de los materiales, ocupe más y más la atención de los grupos técnicos interesados.

Al mismo tiempo, actualmente en el estudio de la ubicación, clasificación y comportamientos físicos, con tratamiento o sin el mismo, de dichos materiales, resulta de vital importancia la intervención del laboratorio, el cual realiza las pruebas físicas en el sitio y las pruebas de análisis, cuyos resultados son indispensables para lograr la mejor calidad en la construcción del pavimento. Cabe hacer mención, que existe hoy por hoy, una oferta muy amplia de bancos de materiales que ofrecen sus productos con una excelente clasificación, ensayados y probados por los laboratorios, que nos proporcionan una definición exacta y precisa de su utilización.

Sin embargo, existen todavía, que la información de los materiales se pierde una vez realizada la obra, de manera que las instituciones dedicadas al proyecto y a la construcción que hayan de construir otra, vuelvan a enfrentarse al problema original de buscar materiales apropiados, donde otros ya los habían encontrado, resultando así, urgente e importante,

centralizar de alguna manera toda la información que día a día va surgiendo sobre materiales utilizables, localización, volúmenes existentes, tratamientos y otros. Hoy es una tarea a nivel nacional de todas las instituciones del país para obtener considerable información, logrando así el ahorro en la búsqueda de materiales y a la vez disponer de esta información de los bancos de materiales.

Durante muchos años, la detección de bancos de materiales dependió de métodos exploratorios comunes, desde la simple observación sobre el terreno, hasta el empleo de pozos a cielo abierto, posteadoras, barrenos y aún máquinas perforadoras. En épocas más recientes, los estudios geofísicos, de gran potencialidad en estas cuestiones, han venido a sumarse a la técnica disponible, ahorrando mucho tiempo y esfuerzo humanos, y mucha exploración.

En el proceso constructivo de un pavimento, es muy común tener los bancos necesarios de materiales para las terracerías de préstamos laterales utilizables para la compensación longitudinal y transversal. Será necesario establecer ciertas distinciones entre los bancos de roca y los de suelo. La transición entre los dos materiales genéricos es en éste caso, todavía más difícil de establecer con precisión que en otros; la roca puede presentarse con muy diversos grados de alteración o puede ser mixto, en el sentido de contener tanto formaciones rocosas como auténticos suelos.

Un punto fundamental en la determinación de bancos de materiales es la valuación de las rocas o suelos contenidos, la que suele ser muy difícil de establecer en forma cuantitativa. Es muy importante mencionar que los cambios físicos que ocurren en la roca pueden ser del tipo de fragmentación durante la extracción, por manejo o durante la colocación, también es importante la alteración físico-química que puede tener durante la vida útil de la obra.

Estos cambios han de ser considerados cuando se trate de suelos, pero revisten mayor importancia en las rocas, pues los suelos seguramente han sufrido las transformaciones físico-químicas importantes durante su proceso anterior de descomposición, que les dio existencia a partir de la roca madre, la roca sobre todo, las sanas trituradas o rotas, no han estado antes a sujetas a cambios intensos de meteorización y éstos pudieran tener consecuencias muy notables.

Un buen diagnóstico definitivo, sin embargo, depende de tantos factores específicos, que no es posible aspirar a emitirlo en ningún caso particular, solo con base en la información. Cada caso requiere la realización de pruebas de campo y de laboratorio sobre las rocas que forman el banco en estudio. La prueba de banco es, quizá, la duplicación de un proceso de excavación análogo al que después se usará en forma masiva, para ver objetivamente qué material se obtiene; esta será, necesariamente, una prueba a escala suficientemente grande, como para ser realista. Es así como la posibilidad de deterioro de la roca con el tiempo, es mucho más difícil de establecer. Quizá la mejor orientación pueda obtenerse observando lugares en que la roca haya estado expuesta durante mucho tiempo.

La valuación preliminar de los suelos se hace sobre todo con base en experiencia precedente; la clasificación en el Sistema Unificado ayuda en todos los casos, pues este Sistema lleva aparejado al encasillamiento en un grupo determinado, es decir, todo un conjunto de índices de comportamiento, por lo que es muy importante la valuación en detalle de los suelos constitutivos de un banco ha de hacerse con base en pruebas de laboratorio.

Pocos aspectos prácticos son tan importantes en la realización de una vía terrestre, sea carretera o aeropista, y a la vez resultan más elusivos para un tratamiento general, que el que se refiere al desarrollo de criterios y técnicas para la localización de bancos de materiales. El tema es de tal importancia, que no puede considerarse completo un proyecto o digno de autorización para su ejecución, sino contiene una lista completa y detallada de los bancos de materiales de los que han de salir los suelos y roca que forman la obra. En este caso, la expresión “bancos de materiales” ha de ser tomada en su sentido más general y puede referirse a los cortes de donde se construirá un terraplén o un balcón en un método de compensación longitudinal o transversal, a los materiales del terreno natural de donde se extraerá un préstamo lateral o a un banco propiamente dicho.

Localizar un banco es más que descubrir un lugar en donde exista un volumen alcanzable y explotable de suelos o rocas que pueda emplearse en la construcción de una determinada parte de una vía terrestre, satisfaciendo las especificaciones de calidad de la institución constructora y los requerimientos de volumen del caso. El problema tiene otras muchas implicaciones. Ha de garantizarse que los bancos elegidos son los mejores entre todos los disponibles en varios aspectos que se interrelacionan.

-En primer lugar, en lo que se refiere a la calidad de los materiales extraíbles, juzgada en relación estrecha con el uso a que se dedicarán. -En segundo lugar tienen que ser los más fácilmente accesibles y los que se puedan explotar por los procedimientos más eficientes y menos costosos. -En tercer lugar, tienen que ser los que produzcan las mínimas distancias de acarreo de los materiales a la obra, renglón éste cuya repercusión en los costos, es de las más importantes. -En cuarto lugar tienen que ser los que conduzcan a los procedimientos constructivos más sencillos y económicos, durante su tendido y colocación final en la obra, requiriendo los mínimos tratamientos. -En quinto lugar, pero no el menos importante, los bancos deben estar localizados de tal manera que su explotación no conduzca a problemas legales de difícil o lenta solución y que no perjudiquen a los habitantes de la región, produciendo injusticias sociales. No podemos dejar de mencionar los bancos del suministro de agua para el tratamiento de los materiales en los procesos constructivos del pavimento y que se regirán también bajo los aspectos anteriores.

Es evidente que en cualquier caso práctico, muchos de los requisitos anteriores, estarán en contraposición y la delicada labor del ingeniero estriba precisamente en elegir el conjunto de bancos que concilie de la mejor manera, las contradicciones que resultan en cada caso.

Por debajo de este primer estrato de condiciones básicas que han de conciliarse, existe un segundo, muy tupido, formado por las interrelaciones entre los elementos del primero. Por ejemplo, de entre dos materiales posibles para un cierto uso, podrá haber una diferencia en la calidad técnica cuando están en estado natural, pero esa diferencia podrá anularse o aún invertirse si el peor material recibe un tratamiento adecuado, se estabiliza de alguna manera o sí, tal vez, el proyecto se modifica que un material que no era originalmente apropiado, ahora resulta utilizable. De hecho esta interrelación entre los materiales de construcción y el proyecto de la obra es esencial a tal grado que, como se dijo, el proyecto de una vía terrestre carece de sentido si no se le enfoca como un conjunto que comprenda los bancos de materiales disponibles y la utilización que de ellos pretenda hacerse.

Evidentemente todo el complicado balance que más arriba se ha mencionado, comienza con una etapa de localización simple, al final de la cual el ingeniero debe disponer de un mapa donde aparezcan todos los posibles aprovechamientos de material que puedan interesar a la obra, habiéndose probablemente excluido otros muchos, por algún o algunos inconvenientes obvios. Entre todo este conjunto de bancos que se vean factibles, deberá el ingeniero

desarrollar sus líneas de opción en estrecha vinculación con su proyecto. La búsqueda y localización de bancos de materiales, puede hacerse principalmente, por foto-interpretación o por reconocimientos terrestres directos; éstos últimos pueden auxiliarse,, a su vez, por la foto-interpretación o por métodos de prospección geofísica. Es así como el reconocimiento terrestre del futuro banco es indispensable. En él deberá definirse no solo la posibilidad de la explotación, sino también el grado de dificultad de la misma, los problemas que pudieran acarrear aguas superficiales o subterráneas, los volúmenes disponibles, las facilidades legales, etc. El técnico que realice esta labor técnica, ha de recurrir a la experiencia local, que podrá enseñarle muchas cosas útiles, de las que fácilmente pueden pasar inadvertidas.

Comúnmente es necesario localizar bancos para material de terracerías, para capa de subrasante, para sub-base y base de pavimento y para carpetas asfálticas en el caso de carreteras y aeropistas. Sobra decir que, muchas veces, un mismo banco puede proporcionar material para varios de esos usos y procesos, sometiendo su producto a diferentes tratamientos que deberán ser ensayados por el laboratorio.

Sin embargo, pueden presentarse algunos problemas, precisamente por aparecer esos materiales merecedores de rechazo por su mala calidad en llanuras lacustres, zonas de inundación, depósitos de delta, grandes planicies aluviales y costeras, y otras zonas, donde abundan los depósitos muy finos y que tienen un líquido mayor que el 100%. En todos estos casos, no es raro tener que buscar los aprovisionamientos de materiales fuera de esas zonas, si no son demasiado extensas.

Los bancos de terracerías conviene fijarlos no demasiado espaciados, para no dar lugar a distancias de acarreo excesivas; la separación óptima, está en la mayoría de los casos de la práctica, allá donde se alcance el equilibrio de costos entre el acarreo, por un lado, y el costo del despalle y preparación del banco por el otro. Las distancias que resultan no suelen exceder los 5 Km. entre banco y banco, aunque podrá haber casos especiales en que estas distancias sean mucho mayores, sobre todo en zonas agrícolas, en que los costos de afectación son muy altos.

En lo que se refiere a la capa subrasante, ya se ha mencionado que los materiales que puedan utilizarse y los que deban rechazarse, de acuerdo con la práctica mexicana, puede citarse como una norma de criterio. Un requisito que condiciona adicionalmente los bancos

de materiales elegidos es ahora el de lograr homogeneidad en longitudes significativas, para evitar que las estructuras y espesores de las capas del pavimento suprayacentes varíen con demasiada frecuencia. Las distancias comunes entre bancos pueden extenderse en éstos casos hasta 10 Km.

Los materiales para sub-base y base de pavimento, además del requisito anterior, suelen estar condicionados en forma importante por los tratamientos mecánicos que llegan a requerir para satisfacer las normas de calidad, mismos que, en añadidura, necesitan de la instalación de equipos especiales y plantas complejas, que no conviene mover mucho. Por todo ello, suelen estar mucho más espaciados, al grado que distancias del orden de 50 Km. no son difíciles de ver. Cabe mencionar en este espacio, que existe un suministro de material en el tratamiento de los materiales asfálticos, derivados del petróleo, los cuales provienen de las fuentes de las plantas de refinación de PEMEX y se cubrirán los kilómetros que se requieran al sitio de la obra.

Los bancos para subrasante suelen encontrarse en los oteros bajos y extendidos, en formaciones de roca muy alterada, en las zonas limoarenosas de los depósitos de ríos, en zonas de depósito volcánico de naturaleza piroclástica, como conos cineríticos o tobáceos, en horizontes arenosos de formaciones estratigráficas extensas, etc.

Los materiales para la sub-base y base, actualmente se encuentran en bancos bien definidos y localizados estratégicamente, dependiendo de la localización física y tipo de planicie, constituyendo así, materiales altamente seleccionados y de buena calidad. Dichos bancos de materiales que pueden ser también asfálticos o hidráulicos, se obtienen de estos bancos, casi siempre por trituración, a partir de formaciones rocosas sanas, así como también de bancos de materiales de composición natural que son aprovechables a través del cribado.



Ilustración No.III. 1. Banco de Tepetate para subrasante.

Cabe añadir que un buen estudio de fotointerpretación puede cubrir con rapidez la etapa de reconocimiento preliminar sin que, como se dijo, este método tenga rival en la detección de posibles bancos. Los métodos geofísicos, por su parte, son económicos y rápidos para ubicar los bancos en estudio y para distinguir las diferentes formaciones que es común encontrar en ellos.

Los bancos de suelo han de muestrearse para conocer en el laboratorio las características que interesen para definir o autorizar su uso.

Las pruebas de exploración a cielo abierto, son los métodos más empleados en los suelos. La diferencia entre el estudio preliminar y el definitivo, suele radicar más bien en el número de sondeos que en la investigación definitiva deban corroborar la información preliminar, definiendo claramente las distintas formaciones existentes y ubicar con la información requerida, el volumen del material que vaya a ser necesario.

Sin embargo, no debe excluirse, al realizar este tipo de exploración definitiva en suelos, el empleo de métodos de exploración más refinados o capaces de ir a mayores profundidades que pudieran requerirse en algunas ocasiones; se utilizarán entonces máquinas perforadoras. No existe ninguna regla para fijar el número de sondeos que es necesario para fijar en un caso dado. Algunas instituciones fijan un determinado número de sondeos por

cada número de metros cúbicos de material por explotar, lo cual no toma en cuenta ni la homogeneidad o heterogeneidad de la formación, ni ninguna otra de las características geológicas particulares, por lo que el anterior no parece ser un buen criterio para definir la exploración, será preferible ceñirse en cada caso a las características específicas del banco en estudio, teniendo muy en cuenta las condiciones geológicas locales y los frentes que han de atacarse.

En los bancos para terracerías, es común realizar análisis granulométricos, límites de plasticidad, pruebas de compactación, cálculo del coeficiente de variación volumétrica, todo lo cual suele requerir muestras entre 50 y 100 Kg como mínimo. Se trata sencillamente de clasificar al suelo y conocer sus características en cuanto a compactación.

En materiales para pavimento, además de las pruebas anteriores, los bancos de suelos deberán sujetarse en general a pruebas de Valor Relativo de Soporte o similares, de acuerdo con el método de diseño que se pretenda utilizar. Se excluye, naturalmente toda la gama de pruebas que en relación a los asfaltos han de hacerse a una carpeta.

Los materiales que el ingeniero encuentra en los lugares de posible explotación, son suelos o rocas que han soportado en ese sitio numerosos cambios por evolución o por revolución, los que han dejado sus huellas, hasta formar los materiales que sea posible encontrar en la actualidad. Probablemente toda la corteza terrestre procede, como se sabe, de algo que en origen fue un fluido viscoso y que lentamente se endureció hasta formar rocas ígneas.

Los procesos de meteorización, favorecidos por agrietamientos y acciones tectónicas, fueron formando, a partir de la matriz original, masas residuales, antecedentes de suelos residuales, producto "in situ" de la descomposición, la solución y la decisiones de localización y ambiente, los suelos transportados. Los suelos transportados y depositados en un nuevo lugar, pueden continuar intemperizándose en ese lugar o ser retransportados y redepositados en un nuevo ambiente. Otros se endurecen por consolidación y cementación, formando rocas sedimentarias. Muchos organismos marinos o que viven en las aguas, contribuyen fundamentalmente a la transformación en rocas de los sedimentos previos producidos por meteorización. Las rocas sedimentarias quedan sujetas a la misma distorsión y fracturamiento que la tectónica produce en las rocas ígneas y de la misma manera que a éstas, las afectan los cambios ambientales, que las meteorizan para producir nuevos suelos

residuales, en los que recomienzan los procesos de erosión, transporte y creación de nuevos depósitos. Y también quedan expuestas y sometidas a aumentos de temperatura, de presión y a la acción de nuevos estados de esfuerzos, que como consecuencia, su estructura mineral puede alterarse químicamente o reagruparse físicamente, para producir las rocas metamórficas.

Las mezclas asfálticas también requieren características específicas en los agregados pétreos, llegándose en algunos casos al rechazo de los mismos al no verlas cumplidas. Las rocas que contienen un alto porcentaje de silicio (rocas ácidas), no sirven generalmente para carpetas, por no presentar una liga adecuada con el asfalto. También dan problemas en las mezclas asfálticas, algunos agregados que tienen tendencia a alterarse rápidamente en arcillas, como sucede con algunos basaltos, a despecho de la excelente calidad que en general esta roca tiene cuando se usa en mezclas asfálticas.

La alteración química de las rocas produce como última consecuencia arcillas cuya mineralogía se relaciona con la de la roca madre; así por ejemplo, los granitos tienden a formar arcillas caoliníticas, en tanto que los basaltos ricos en minerales ferromagnesianos, dan lugar a arcillas montmoriloníticas.

Los materiales procedentes de bancos que van a ser usados en terracerías no suelen sujetarse a ningún tipo de tratamiento especial y se utilizan tal como se obtienen; en esa condición natural deberán cumplir las especificaciones constructivas y de calidad que se señalen, pero se considera universalmente y razonable, desde el punto de vista económico, el empleo de tratamientos, salvo en casos muy especiales.

En los trabajos de pavimentación por el contrario, es usual, como ya se mencionó, someter los materiales a diversos tratamientos que los adecúen a sus funciones. Los tratamientos más usuales son.

1. Eliminación de desperdicios.

Se trata, por ejemplo, de eliminar en bancos de suelos, un determinado porcentaje de partículas cuyo tamaño máximo sobrepasa el que se haya considerado en el proyecto (frecuentemente en el orden de 7.5 cms.)

2. Disgregación.

Esta operación se hace generalmente en bancos de suelo duro, de roca muy alterada o en materiales con la consistencia de aglomerados poco sementados. La disgregación se hace muchas veces con maquinaria de rodillos de compactación del tipo pata de cabra o similar.

3. Cribado.

Generalmente se utiliza para lograr en un material de naturaleza friccionante, una granulometría adecuada o para eliminar porcentajes altos de partículas mayores que el tamaño máximo requerido, que generalmente son desperdiciadas; se ha dicho que porcentajes arriba del 10 o 15%, conviene ya eliminarlos cribando. Las instalaciones de cribado para eliminación de tamaños grandes, suelen ser muy sencillas. Normalmente el material se maneja por gravedad, recogiendo en un camión, el material que pasa una criba determinada. También se usa el cribado por vibración, que suele ser muy eficiente y con desperdicios mínimos, obteniéndose una excelente dosificación de materiales en diversos tamaños, dispuestas en dos o tres niveles. El ritmo de vibración en éstas suele ser de 1,200 ciclos por minuto. Estas plantas se utilizan generalmente en combinación con equipos de trituración.

4. Trituración.

Es el tratamiento al que generalmente se recurre para llegar a la granulometría adecuada a partir de materiales naturales muy gruesos o de fragmentos de roca. Es normal realizar la trituración en varios pasos o etapas, según el producto final al que desee llegarse; así se habla de triturados primarias, secundarias o terciarias.



Ilustración No. III.2. Trituración y selección de materiales pétreos para sub-bases, bases y carpetas asfálticas.



Ilustración No.III.3. Cribado y selección de materiales pétreos (gravas), para capas de sub-base, base y mezclas asfálticas, a través de bandas transportadoras.

La trituración suele realizarse en plantas muy completas que incluyen alimentadores, bandas de transportación, plantas de cribado, elevadores de material y dispositivos de quijada, de impacto, de rodillos de diferente separación, etc.

Derivado de esta trituración es importante la relación de tamaños de la partícula en las etapas iniciales y final del proceso, que define el tipo de equipo que ha de usarse y el costo de la operación. Es importante la forma que adquiera la partícula triturada, pues de ella depende en mucho el comportamiento mecánico posterior. Una forma equidimensional, con aristas vivas, es obviamente la más deseable. Es usual hablar de trituración total o parcial, denotando la intensidad del proceso requerido en un caso dado.

5. Lavado.

Este método se aplica en materiales contaminados por arcilla, materia orgánica o polvos; frecuentemente se usa en conexión con operaciones de trituración y cribado. El lavado se realiza por diversos sistemas, desde el chiflonaje durante el cribado, hasta el empleo de tanques lavadores, en los que el material es removido con paletas mecánicas, mientras se le somete a riegos de agua a presión.

Finalmente, podemos decir que las fuentes más típicas de aprovisionamiento de los materiales de los bancos, son el préstamo lateral, la compensación longitudinal o transversal, y el uso de los bancos específicos.

La explotación de los bancos de roca o suelo, se hace utilizando determinados equipos con características muy específicas y usos bien establecidos que denotan en la experiencia cotidiana. El éxito de una buena explotación de bancos, dependerá, fundamentalmente de la atinada selección del equipo adecuado, para desarrollar cada actividad en particular. Por ejemplo, el despalme para descubrir los materiales, será eliminando la materia orgánica y a través de un buldócer o tractor, alojando el material despalmado a las orillas. Posteriormente con esta misma máquina, se procederá a ripear para aflojar el material y acumularlo. Se usará un cargador frontal preferentemente neumático, para lograr una eficiencia tal, que logre rendimientos con utilidades y menos tiempos muertos, cargando los vehículos de transporte.



Ilustración No. III.4. Tractor sobre orugas aflojando material pétreo aprovechable para sub-bases, bases y carpetas.

Existen algunos casos especiales en la explotación de bancos que se presentan con cierta frecuencia y que ameritan un último comentario particular. En el caso de materiales para terracerías, a veces se explotan bancos en que se presentan en un mismo frente, varios extractos de materiales, todos aprovechables, pero de diferente calidad. En éstos casos suele convenir efectuar la explotación de manera que se produzca la máxima posible de las distintas calidades, para llegar a un producto final lo más homogéneo posible, según el proyecto y diseño del pavimento con el control de calidad por parte del laboratorio. Para evitar así, mezclas que posteriormente produzcan un tratamiento diferente al proyectado y producir deformabilidad en el pavimento.



Ilustración No. III.5. Operación de abundar material en los bancos de materiales utilizables para terracerías.

C A P Í T U L O I V

CLASIFICACIÓN DEL USO DE MAQUINARIA ADECUADA PARA CADA PROCESO CONSTRUCTIVO

El equipo para ejecutar trabajos de construcción, es una fuerza vital para las operaciones competitivas modernas, particularmente, para la llamada construcción pesada. La planeación de la producción para un proyecto dado, se enfoca a menudo hacia la productividad del equipo, misma que rige la cantidad de trabajo a entregar. Además, la planeación financiera de una empresa constructora, siempre comienza a partir de la inversión en equipo, ya que este elemento constituye la mayor inversión de capital a largo plazo.

La selección y aprovechamiento de los equipos, es una tarea fundamental de un gerente o demás personal que interviene en la construcción de un pavimento, ya que dentro de sus funciones, es lograr que las operaciones que planea, lleguen a dar un producto final satisfactorio, de acuerdo a los planes y especificaciones, y al costo más bajo posible.

Los equipos de construcción se diseñan para trabajar con algún material de una forma u otra. El material terrestre puede triturarse, excavar o compactarse, y al realizar este tipo de operaciones, las propiedades de los materiales, cambian de un estado a otro, originado por el equipo.

Otros equipos de construcción se diseñan para manejar material suelto o fluido –para pesarlo, dosificarlo o mezclarlo-, y aprovecharlo en un producto de construcción más elaborado. Esta es una parte importante del procesamiento de algunos materiales para construcción, los cuales se convierten en productos terminados mediante moldeo, vibración y compactación, utilizando equipo diseñado especialmente para este fin.

En cuanto a su función, la identificación del equipo para construcción, se inicia seleccionando las unidades motrices y unidades de tracción, luego las excavadoras, los equipos de acarreo, y otros equipos para manejo de materiales, junto con equipos para su procesamiento. En tal conjunto, cada equipo es identificado por separado; pero pueden agruparse.

La productividad de un equipo de construcción, es la expresión empleada para designar el rendimiento del equipo en una hora. En otras palabras, la productividad de un equipo indica el número de unidades de trabajo que produce el equipo en una hora. Esto no es una cantidad fija para un equipo dado, sino que depende principalmente de las condiciones del

trabajo y de la dirección del mismo, así como de la destreza del operador, de su persistencia, y de la coordinación con las demás fuerzas de construcción.

Los factores más importantes al hacer la selección de equipo para realizar una operación de construcción, son costo y facilidad de conservación. Es decir, se escoge el equipo que pueda hacer el trabajo al mínimo costo total, siendo iguales los demás factores.

Hay otros factores significativos a considerar en la selección del equipo, que deben analizarse en cada selección y son los siguientes:

1. Trabajo u operación específica a ejecutar.
2. Especificación de construcción.
3. Movilidad requerida por el equipo.
4. Influencia de las variaciones atmosféricas en el funcionamiento del equipo.
5. Tiempo programado para hacer el trabajo.
6. Balanceo del equipo interdependiente.
7. Versatilidad y adaptabilidad del equipo a otros conjuntos de maquinaria.
8. Efectividad del operador con el equipo.

Una solución factible al problema de selección de equipo para condiciones de campo reales, comprenderá indudablemente varios de estos factores. En efecto, una selección de equipo que dependiera de un solo factor sería una operación de construcción muy extraña, sin embargo, para lograr mayor comprensión y capacidad para aplicar los diversos factores en la selección, se estudiarán uno por uno. Al hacer esto, se supondrá que, mientras se estudia un factor dado, los demás factores permanecen subordinados en cuanto a su efecto.

Es obvio, que la operación específica de construcción, es el factor primario en la selección del equipo necesario para lograr el trabajo. El concepto de trabajo u operación específica por realizar, tiene varios aspectos generales en la selección de equipo. El problema comprende el conocimiento de:

1. El trabajo físico a efectuar, al realizar la operación.
2. La disponibilidad de espacio de trabajo.
3. Los requisitos y la disponibilidad de potencia.

La selección del equipo depende directamente de las siguientes consideraciones de tiempo, y puede decidirse por alguna de ellas:

1. El tiempo permitido por el contrato de construcción.
2. La sincronización necesaria y económica de las operaciones secuenciales.
3. El efecto relativo del costo administrativo en la economía de la operación.
4. La variación de las tarifas de renta del equipo, con el tiempo que toma a los equipos realizar la operación (costos horarios).

Todos los equipos de construcción están hechos para ser manipulados por un operador; cuando son de alto grado de automatización, el operador debe oprimir simplemente los botones correctos para ponerlos en acción. Sin embargo, la mayoría de los equipos de construcción, no son tan sencillos de manipular, particularmente, los equipos móviles. Se necesita una gran pericia del operador para hacer trabajar al equipo en forma efectiva. Las características de diseño que facilitan la manipulación del equipo, son importantes en la selección del equipo adecuado. Entre éstas se consideran la posición de los controles de manipulación, la visibilidad del operador hacia su trabajo y los dispositivos incorporados para la manipulación del equipo que permiten la comodidad y seguridad.

Otro aspecto de la efectividad del operador que tiene relación importante con la economía del equipo seleccionado, es el tamaño del equipo que puede manipular con facilidad y en condiciones de seguridad. Anteriormente, había una limitación de los controles y mecanismos manuales, accionados por palancas, pedales y columnas de dirección que tenían ventaja mecánica pequeña. Una sola persona no podía manipular un equipo muy grande, sin fatiga excesiva o sin necesitar ayuda. En la actualidad, con los controles y amplificadores de fuerza, accionados por medios eléctricos e hidráulicos, el tamaño de equipo que puede manipular el operador, es casi ilimitado.

Los equipos generalmente son seleccionados para la construcción de un pavimento, en función de lo que determina el proyecto, pero específicamente en el marco de los conceptos a desarrollar, individual o en grupo. Es así que a continuación, describiré el prototipo de trabajos a realizar en un proyecto, según la experiencia profesional que he vivido y mencionaré en cada concepto la maquinaria básica a utilizarse en general, y me referiré a la

más representativa, sin hacer distinción a la maquinaria más especializada para trabajos muy específicos.

Para realizar los trabajos preliminares de un proyecto tipo, en los conceptos de despalmes y desmontes, se utilizan los *tractores montados sobre orugas*, conjuntamente con los *cargadores con orugas*, como suelen ser los *traxcavos* y *payloaders*, como se muestran en las Ilustraciones No. IV.1., No. IV.2 y No. IV.3.



IV.1. Tractor buldozer con ripper realizando cortes laterales



Ilustración No. IV.2. Traxcavo o cargador montado sobre orugas realizando cortes y acumulación de materiales para su posterior descarga en volteos.



Ilustración No. IV.3. Traxcavo montado sobre neumáticos para cortes, despalmes y para cargar materiales pétreos utilizables en los pavimentos.



Ilustración No. IV. 4. Traxcavo haciendo operaciones de carga.

Algunas de las características importantes de éstas máquinas, son: la potencia del motor que se mide en el tractor hasta 500HP, en el traxcavo de 105HP con una capacidad de 2.5 yd³, el payloader en 130HP y una capacidad de 2.5 yd³, en marcas Caterpillar o similares, con consumo de combustible diesel.

Para realizar trabajos de construcción de terraplenes, subrasantes, sub-bases y bases, en los que se requiere nivelaciones, mezclado de materiales de 2 tipos de pétreo o más, tendido, formación, escarificación, estabilización con cal, etc., la maquinaria típica a usar son: *motoniveladores* o *motoconformadoras autopropulsadas*, cuya capacidad de potencia del motor oscila de los 125 hasta los 180HP, en marcas Caterpillar o similares, con consumo de combustible diesel.



Ilustración No. IV. 5. Motoconformadora, utilizada para los procesos de construcción de las capas de subrasantes, sub-bases y bases.



Ilustración No.IV.6. Motoconformadora para el tendido de los materiales que forman las diferentes capas que constituyen el pavimento.



Ilustración No.IV.7. Motoconformadora mezclando los materiales que constituyen las diferentes capas del pavimento.

Para los trabajos de aplicación del agua para lograr humedades óptimas en mezclados y tratamientos especiales de los conceptos de construcción de terraplenes, subrasantes, sub-bases, bases hidráulicas, compactaciones, se utiliza vehículos de transporte tipo pipa con equipo de bombeo, cuya capacidad fluctúa entre los 10 y 14M3 de diferentes marcas y consumo de combustible gasolina o diesel.



Ilustración No. IV.8. Pipa de agua.

Para los conceptos de compactación en la estabilización y tratamientos mecánicos de los materiales que componen las terracerías, subrasante, sub-bases, bases y carpetas asfálticas y microcarpetas, se utilizan diferentes tipos de compactadores lisos, estáticos y dinámicos, como son el vibrocompactador y el compactador neumático -muy específico en el uso de las carpetas asfálticas para cerrar los poros-El vibrocompactador es una máquina de 115HP de impacto marca Caterpillar o similar, autopropulsado, con un peso de 6 ton. y realiza una compactación de vibración con frecuencias que oscilan entre 1,200 y 6,000 impactos por minuto, logrando así, compactaciones que van del 90 al 100% proctor o según la prueba AASHTO, el consumo de combustible es el diesel.



Ilustración No. IV. 9. Compactador neumático para carpetas asfálticas.



Ilustración No. IV.10. Compactador neumático compactando carpeta asfáltica.



Ilustración No. IV.11. Rodillo vibratorio para compactación de terracerías.

Dentro de los procesos de construcción de un pavimento en la capa de la base hidráulica, se utiliza la barredora mecánica, la cual consiste de un cepillo rotativo de cerdas especialmente diseñadas para eliminar grumos y polvo. Actualmente estas máquinas son autopropulsadas y muy efectivas, de las cuales se obtiene un alto rendimiento en las obras, reduciendo los tiempos muertos o perdidos. Su potencia de esta máquina, son del orden de 85HP, su consumo de combustible es diesel.



Ilustración No. IV. 12. Barredora mecánica; barriendo base hidráulica antes de aplicar el riego de impregnación.

Para llevar a cabo los conceptos de los riegos ligantes a base de asfaltos rebajados, como son las emulsiones para riegos de impregnación y liga, se utiliza la petrolizadora, que tiene como característica, elevar las temperaturas indicadas por la norma, de 65 a 80°C, para lograr una aplicación uniforme, ésta máquina está constituida de una barra con aspersores que aplica los asfaltos rebajados uniformemente, logrando el objetivo. La capacidad de ésta máquina es de 6 a 10M3, y el consumo de combustible es de gasolina y diesel.



Ilustración No. IV. 13. Petrolizadora aplicando el riego de impregnación.



Ilustración No. IV. 14. Petrolizadora, cuya función es aplicar los riegos asfálticos: de impregnación y de liga.

Otra máquina importante y que normalmente finaliza el proceso de construcción de un pavimento, son las extendedoras de asfalto (mezclas asfálticas) o finisher, como son conocidas comúnmente. En marcas Caterpillar, Barber Green, entre otras. Hoy en día estas máquinas, están muy tecnificadas, logrando tener dentro de su equipo adicional, calentador y vibrador para distribuir la mezcla eficientemente y lograr así acabados de alta calidad de tendido. La potencia de estas unidades llega a ser hasta de 160HP, su consumo de combustible es de diesel.



Ilustración No. IV. 15. Extendedora de asfalto o Finisher, utilizada para tendido de carpeta asfáltica en caliente.

Para la elaboración de las mezclas asfálticas, se utilizan los tipos de planta de asfalto fija y móvil de producción continua, que se distinguen por varios diseño y características de operación, sin intervalos cíclicos entre cargas, es decir, entrega todo el material en forma de corriente continua, con alta eficiencia y bajos costos de manejo, ya que en el lugar donde se fijan y se producirá la mezcla, se acercan los materiales pétreos y finos, así como el asfalto que se requiere para llevar a cabo las operaciones de fabricación, dejando ver que éste tipo de plantas, sobre todo las móviles, deberán de ubicarse lo más cerca, o en un punto medio entre la explotación de los pétreos y el centro de gravedad de la obra. Cabe mencionar aquí, que son muy importantes los vehículos de transporte tanto de los materiales pétreos como de las mezclas asfálticas al lugar de la obra, los que se llegan a utilizar en forma idónea son los camiones de 14M3 de capacidad, así como las tolvas térmicas de 28M3 que rigen hoy en el mercado por su gran eficiencia en el control de la temperatura de las mezclas hasta el mismo sitio de colocación del pavimento.



Ilustración No. IV.16. Planta estacionaria para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

Toda esta maquinaria que interviene en estos procesos de construcción del pavimento, su capacidad y rendimiento dependerán de varios factores, los más importantes son: la

operación, que deberá ser con personal calificado, del mantenimiento preventivo de las máquinas, así como de la climatología de la zona de construcción.

En las siguientes ilustraciones, No.IV.17 y No.IV.18, muestro el equipo especializado que se usa para transportar la útil y preciada maquinaria; lo constituye el tractor-camión y el low-boy o plataforma baja.



Ilustración No.IV.17. Equipo especializado, transportando motoconformadora, barredora y vibrocompactador, utilizados en procesos de construcción de pavimentos.



Ilustración No.IV.18. Equipo especializado transportando motoconformadora, utilizada en los procesos constructivos de pavimentos.

C A P I T U L O V

**CONTROL DE CALIDAD
DE LOS PROCESOS
TERMINADOS A TRAVES
DE LABORATORIO**

Una vía terrestre exitosa es un balance de un número muy grande de acciones previas. No basta decir que está bien terminada para garantizar el conjunto; por el contrario, en muchos casos el éxito se logra en procesos en que positivamente se han descuidado muchos eslabones y se han cuidado otros en que residía lo esencial. La relación de los eslabones es lo que ha de ser comprendido a fondo; en el conocimiento realista de lo que cada uno representa e influye para descansar la base del éxito del control.

Indudablemente las normas y especificaciones más eficientes de proyecto y la construcción más ambiciosa y costosa, no bastan para garantizar la existencia de una obra de pavimento útil, económica y duradera. Entre el proyecto y la obra o entre la construcción y la obra, existen todo un conjunto de pasos y criterios que será preciso garantizar para llegar a un buen resultado. Un criterio simplista podría expresar este nexo como la simple necesidad de hacer las cosas bien, pero, naturalmente esto no basta. Un conjunto de cosas bien hechas, cada una bien concebida individualmente y bien ejecutada, puede llevar a un proceso inconveniente. Controlar idealmente cada paso, conduce a un perfeccionismo rígido, incompatibles con las realidades de la construcción pesada de pavimentos. Definir los puntos vitales y ejercer en ellos una vigilancia razonable y científica, ese parece ser el secreto de un control exitoso.

La perfección o cuidado con que se ejecute cada etapa, podrá y deberá ser diferente; en algunas, casi se admitirá el descuido o la improvisación; con tal de obtener en otras la plena garantía de una calidad que conduzca al proceso de construcción del conjunto.

El control de la calidad de las obras de ingeniería de pavimentos se ha convertido hoy en una compleja ciencia; siendo así que hoy constituye por sí un nuevo campo con su propia metodología y con criterios específicos y privativos.

Un aspecto importante en la planeación y ejecución de un buen programa de control es la definición previa del nivel de calidad requerido en el proceso constructivo. Es así que se exige un sistema de inspección, muestreo y pruebas que permitan analizar la realidad del proceso constructivo del pavimento, así como las tendencias y oscilaciones de los trabajos, y deberán fundarse en aspiraciones realistas, pues de otro modo, solo se conducirá a confusiones. Deberá fundamentarse en pruebas de significación relevante desde el punto de vista técnico, pues solo éstas darán indicaciones apropiadas sobre el estado real del trabajo,

concluyendo así que el sistema de inspección se refiere a los aspectos fundamentales del comportamiento de la obra y no a los accesorios.

En la definición de un programa de control, el conjunto de especificaciones que se manejen, fijan de un modo u otro, fijan las metas por lograr, las ordenanzas y programas que conducen a la consecución de los logros deseados para determinar si se ha alcanzado lo que inicialmente se desea. Es decir, las especificaciones manejadas por una institución, influyen y gobiernan en gran medida como el fundamento último de la filosofía del control.

Existe una actitud no siempre sana en lo que se refiere al manejo de las especificaciones institucionales por algunos miembros del personal. Existe una marcada tendencia a idealizar las especificaciones en uso, colocando sus afirmaciones por encima de toda crítica; lo afirmado por las especificaciones no puede discutirse y cualquier criterio que las modifique, es acusado de enfrentarse a la técnica entronizada, en nombre de la improvisación así como de la ignorancia.

Pero también es un hecho cierto que la perfección de cualquier conjunto de especificaciones conduce a la rigidez mental y a la falta de movimiento de las técnicas empleadas. Las instituciones que dan un carácter excesivamente “sagradas” a sus normas técnicas, suelen sentir al poco tiempo grandes oposiciones internas a cualquier cambio en tales normas, con lo que su técnica se fosiliza.

Un conjunto de especificaciones no es más que el resultado del trabajo en equipo de unos cuantos técnicos señalados por sus conocimientos y experiencia.

Otro aspecto importante de todo programa de control de calidad, lo constituye el conjunto de pruebas de laboratorio que proporciona lo que pudiera considerarse, la base metodológica y técnica del programa. Las pruebas de laboratorio con fines de control, están dirigidas a la comprobación de las características esenciales, claras y rigurosamente estandarizadas, rápidas en su realización y resultado, de fácil interpretación, fáciles de corregir, calibrar y de manejo simple; solo así se podrán obtener resultados confiables en los laboratorios de campo a pie de obra, que son los que han de realizar el control, sin interferir o frenar los programas de construcción.

Por ejemplo, la calidad de una compactación se juzga con base en un índice fijo, frecuentemente el grado de compactación; el trabajo está bien hecho, si se ha logrado el 95% de compactación, respecto a una determinada prueba. El control se hace obteniendo muestras por diferentes procedimientos, que también para esta labor existen varios criterios. Al probar cada una de las muestras, no debe de aparecer ningún grado de compactación menor que 95%. Este sistema de medir la calidad de lo logrado, adolece del defecto de no tomar en cuenta la realidad del aspecto humano. Toda actividad realizada por hombres, está sujeta a muy complejas leyes de variación, a veces imposibles de definir; otras excesivamente complejas para ser detalladas cuantitativamente. La variabilidad emana frecuentemente de factores de heterogeneidad de los materiales y de los métodos de su comportamiento y manipulación; otras de factores circunstanciales o del medio ambiente en que los trabajos se realizan.

Estas ideas repercuten en que si se fija un índice específico del 95% de compactación, antes ejemplificado, deberá intentarse sistemáticamente la obtención de un valor mayor y que solo así se logrará tener valores iguales o mayores que 95%, una vez que las realidades de la naturaleza impongan sus variaciones.

Para el control de la calidad de los procesos constructivos terminados de un pavimento a través del laboratorio, en general se lleva a cabo pruebas que están divididas en tres tipos, las de clasificación, las que tienen por objeto establecer la calidad de los materiales, que entre otras cosas, permitirán establecer si se cumplen las normas mínimas que establezca la institución correspondiente y, finalmente, las pruebas de diseño propiamente dichas. Sobre todo en este último aspecto, puede haber, como ya se comentó anteriormente, criterios diferentes entre los diversos organismos que operan, marcando así una diferencia institucional en lo que se refiere a la fijación de las pruebas, para mostrar las características de los procesos.

Las pruebas predominantes que ejecuta un laboratorio en un proceso constructivo de un pavimento sobre los suelos, los materiales pétreos y carpetas asfálticas, son las siguientes:

I. Terracerías.

- a) Clasificación: Límites de plasticidad.
Granulometría
- b) Calidad: Peso volumétrico máximo.
A veces, Valor Relativo de Soporte.

II. Capa Subrasante.

- a) Clasificación: Límites de plasticidad.
Granulometría.
- b) Calidad: Peso volumétrico máximo.
Valor Relativo de Soporte.
Expansión.
Equivalente de Arena.
- c) Diseño: Determinación de Valor Relativo de Soporte.
(Método del Cuerpo de ingenieros, U.S.A.),
O bien:
Pruebas de Hveem, o bien:
Pruebas Triaxiales de Texas.

III. Base y sub-base.

- a) Clasificación: Límites de plasticidad.
Granulometría.
- b) Calidad: Peso volumétrico máximo.
Valor Relativo de Soporte.
Equivalente de Arena.
Expansión.
- c) Diseño : Si se desea hacer un diseño estructural por capas, deberán realizarse las pruebas indicadas para la capa subrasante.

IV. Carpeta Asfáltica.

- a) Clasificación: Límites de plasticidad.
Granulometría.
- b) Calidad: Pruebas de desgaste y/o alterabilidad.
Equivalente de Arena.
Expansión.
Afinidad con el Asfalto.
Pruebas para definir la forma de los agregados.
- c) Diseño: Prueba de Marshall, o bien:
Pruebas de Hveem.
El contenido óptimo de Asfalto.

Todas estas pruebas se realizan a través de Tablas y Gráficas, que ya mencionamos y mostramos en el Capítulo II de este trabajo, sin embargo, a continuación ilustramos en forma complementaria estos formatos, para determinar la Prueba Marshall; Tendido y Planchado del Concreto Asfáltico; Riegos Asfálticos y Reporte de Concreto Asfáltico, donde se puede apreciar las diferentes pruebas en mezclas asfálticas.

Las pruebas de laboratorio son un arma infalible para verificar los procesos constructivos de un pavimento tipo multicapa y determinar así las características de los comportamientos de los materiales previamente ensayados por el mismo laboratorio en los bancos de suministro, que constituyen el pavimento.

Es muy importante hacer mención que el laboratorio deberá permanecer constantemente en la obra, vigilando los controles de calidad marcados en el proyecto, con el criterio, siempre, de tomar en cuenta factores externos, como pueden ser los climatológicos, para obtener así la calidad deseada en los diferentes procesos de construcción.

EMIC, S.A.

ENSAJE DE MATERIALES PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, S.A.

Astrónomos No. 63-1 Col. Escandón Z.P. 18 Méx.. D.F.

PRUEBA MARSHALL

LABORATORIO EN _____					CARRETERA _____					MATERIAL _____					MATERIAL ASFALTICO _____				
OPERADOR _____					TRAMO _____					PRECEDENCIA _____					ADITIVO EMPLEADO _____				
FECHA _____					SUBTRAMO _____					TAMANO MAXIMO _____									

ENSAYE	PROBETA	PESO (GRS.)					VOLUMEN (CM.3)					DENSIDAD TEORICA MAXIMA	VOLUMENES 1/4 TOTAL					% VACIOS	ESTABILIDAD (KG.)					CARACTERISTICAS DE MATERIALES
		% DE CEMENTO ASFALTICO AGREGADO	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE ESPECIMEN + PARAFINA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AIRE	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AIRE	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA		% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA		% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	% DE CEMENTO ASFALTICO EN AGUA	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w		
																							DENSIDAD DEL MATERIAL BRUEO =	
																							DENSIDAD DEL MATERIAL FINO =	
																							ABSORCION % =	
																							DESgaste % =	
																							DENSIDAD DEL MATERIAL BRUEO =	
																							DENSIDAD DEL MATERIAL FINO =	
																							ABSORCION % =	
																							DESgaste % =	

r = CONSTANTE DE AVILLO

+ = DENSIDAD MAXIMA TEORICA

%CA	%MP
DCA	DMP

DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (DCA) =

DENSIDAD MATERIAL PETREO (DMP) =

DENSIDAD PARAFINA (DPI) =

OBSERVACIONES:

EL JEFE DEL LABORATORIO DE CAMPO

Formato. V.1. Prueba Marshall para carpetas asfálticas.



EMIC. S.A.

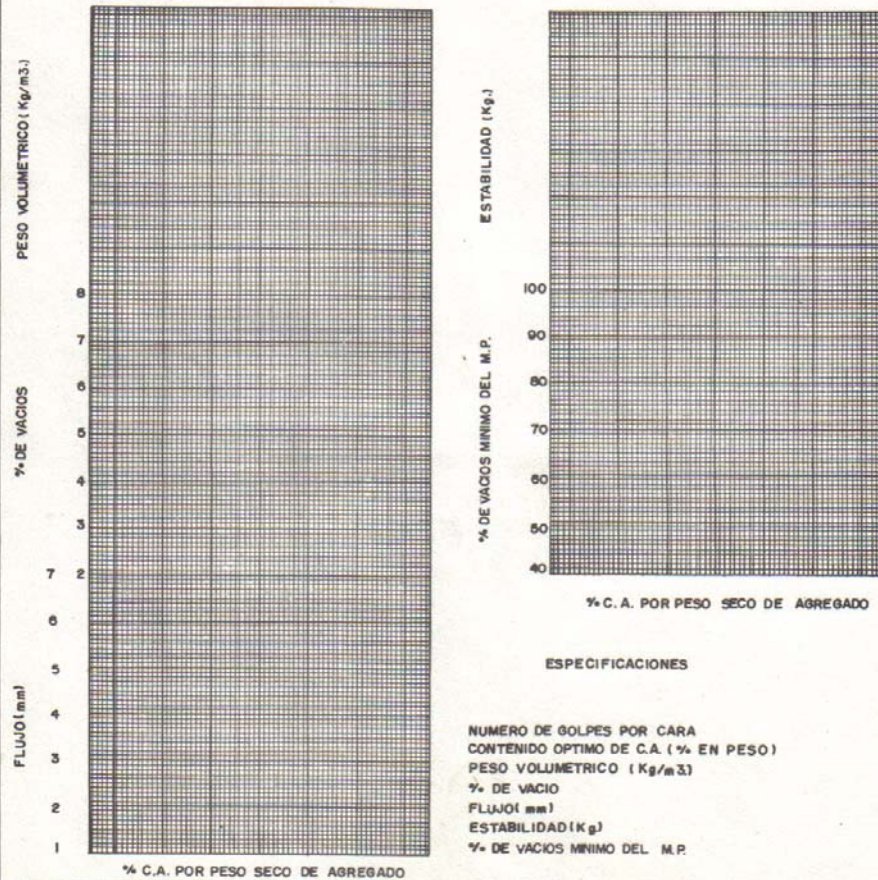
ENSAYE DE MATERIALES PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, S.A.

Astrónomos No. 63-1 Col. Escandón Z.P. 18 Méx., D.F.

PRUEBA MARSHALL

MUESTRA DE:
PROCEDENCIA:
LOCALIZACION:
ENVIADA POR :

EXPEDIENTE NUM:
ENSAYE NUM:
FECHA DE RECIBO:
FECHA DEL INFORME :



EL LABORATORISTA

EL JEFE DE

EL JEFE DE LA OFICINA

Formato V.2. Prueba Marshall

OBSERVACIONES:



EMIC. S.A.

ENSAYE DE MATERIALES PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, S.A.

Astrónomos No. 63-1 Col. Escandón Z.P. 18 Méx., D.F.

LABORATORIO

Unidad _____

Fecha _____

C. _____

PRUEBA DE CAMPO N°. _____

Camino: _____

Tramo: _____

Riego de Impregnación		Mezcla Asfáltica	
Riego de Ligo			
Riego de Sello			

Condiciones Atmosféricas:

Empezó: h. min. Terminó: h. min.

Lectura Inicial: Lectura Final:

Temperatura del Asfalto al ser Regado

De Est.	A Est.	Long. m	Ancho m	Area m ²	Ala		Mat. Pétreo		Asfalto	
					I	D	Lt.	Lt./m ²	Lt.	Lt./m ²

Observaciones:

N O R M A S

A S F A L T O		A D I T I V O		MATERIAL PETREO	
Tipo	Proporción	Tipo	Proporción	Tipo	Proporción
	Lt / m2		%		
	Lt. / m3		Lt. /m3		
				Banco:	
Laboratorista:					

Formato V.4. Control de Riegos Asfálticos.



EMIC. S.A.

ENSAYE DE MATERIALES PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION, S.A.

Astrónomos No. 63-1 Col. Escandón Z.P. 18 Méx., D.F.

REPORTE DE CONCRETO ASFALTICO

MATERIAL _____ EXPEDIENTE _____	
ENSAYE NUM. _____	MUESTRA NUM. _____
ENVIADA POR _____	FECHA RECIBO _____
PROCEDENCIA _____	FECHA INFORME _____

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO	
CLASIFICACION PETROGRAFICA _____	GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA 200 100 60 40 20 10 4 1/4 3/8 1/2 3/4 1"
PESO VOL. SUELTO _____	
% QUE PASA MALLA	
1" _____	
3/4" _____	
1/2" _____	
3/8" _____	
1/4" _____	
Nº 4 _____	
" 10 _____	
" 20 _____	
" 40 _____	
" 60 _____	
" 100 _____	
" 200 _____	
DENSIDAD _____	
ABSORCION _____	
% DESGASTE _____	
EQUIVALENTE DE ARENA _____	

PRUEBAS EN LA MEZCLA ASFALTICA		
CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	CONT. OPT. DE ASFALTO (%) _____ (*)	GRADO DE COMPACTACION EN CARPETA % _____
TIPO _____	PESO VOL. MAX. EN MEZCLA COMPACTA _____	CONT. ASFALTO EN MEZCLA _____ (*)
TEMPERATURA RECOMENDABLE _____	(Kg/cm3) _____	PERMEABILIDAD DE LA CARPETA _____
DE APLICACION _____	ADITIVO RECOMENDADO _____	
PENETRACION _____		

(*) NOTA: EL CONTENIDO DE ASFALTO SE REFIERE AL RESIDUO ASFALTICO DEL PRODUCTO UTILIZANDO EXPRESADO COMO % EN PESO DEL MATERIAL PETREO SECO.

RECOMENDACIONES

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE	EL JEFE DE LA OFICINA
_____	_____	_____

Formato V.5. Reporte de Concreto Asfáltico.

C A P Í T U L O V I

ANÁLISIS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO ASFALTICO DEL C.E. TLAHUELILPAN-APAXCO, TRAMO ATITALAQUIA-TEXAS, ESTADO DE HIDALGO.

La red de carreteras del Estado de Hidalgo, está compuesta por caminos de competencia federal, estatal, municipal y redes secundarias, como ocurre en todos los Estados de la República Mexicana, al igual que la instalación de aeropuertos en las principales ciudades.

Tuve la oportunidad de participar a través de un concurso licitado y adjudicado por el Gobierno del Estado de Hidalgo, a través de la Secretaría de Obras Públicas en conjunto con el Fideicomiso de Conservación de Carreteras Región III Tula, a una obra denominada Reconstrucción del C.E. Tlahuelilpan-Apaxco, Tramo Atitalaquia-El Refugio, El Tablón-Texas, con la empresa Vías Asfálticas de Hidalgo, S.A. de C.V., de la que fui propietario, así como Representante Legal y Administrador General, en 1997; su finalidad fue, unir a través de este eje carretero al Estado de Hidalgo con el Estado de México y por consecuencia, trajo un beneficio tanto a las personas y como al transporte de carga que circulan, como a los habitantes del lugar, con una vía más amplia, moderna y segura.

Cabe mencionar que la zona es rica en bancos de materiales cercanos al lugar de la obra, que reúnen la calidad requerida y que disminuyen los costos operativos de acarreos de los materiales para las terracerías y los pavimentos.

El camino en sus condiciones existentes antes de iniciar el proyecto de reconstrucción, tenía un aforo promedio de 500 a 800 TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual) y con su modernización, puede llegar hasta los 1,500 TDPA o más.

La región en la cual está ubicado el camino, tiene basada su economía en la agricultura y en la ganadería, pero también en el rubro de la industria, como la cementera, petrolera (refinería Miguel Hidalgo), etc. y con un alto grado de desarrollo futuro.

La morfología y configuración topográfica del terreno donde se desenvuelve el camino, es en forma general, sensiblemente plano y se ubica a una altura de 2,000 metros sobre el nivel del mar. En la zona del camino la precipitación media pluvial, varía entre los 200 y 300 mm de columna de agua, con un régimen de lluvias de agosto a diciembre, sin ignorar precipitaciones leves durante el resto del año. La temperatura oscila entre los 10 y 25°C, presentando un valor medio anual de 15.40°C, manifestando una capa de niebla en los descensos de temperatura.

En la Fig. 18 se ilustra el Croquis de Localización del Eje Troncal de este tramo carretero, así como también, la reubicación de la tubería de agua potable que suministra al vecino municipio de Atotonilco de Tula, localizado en la parte sur del camino.

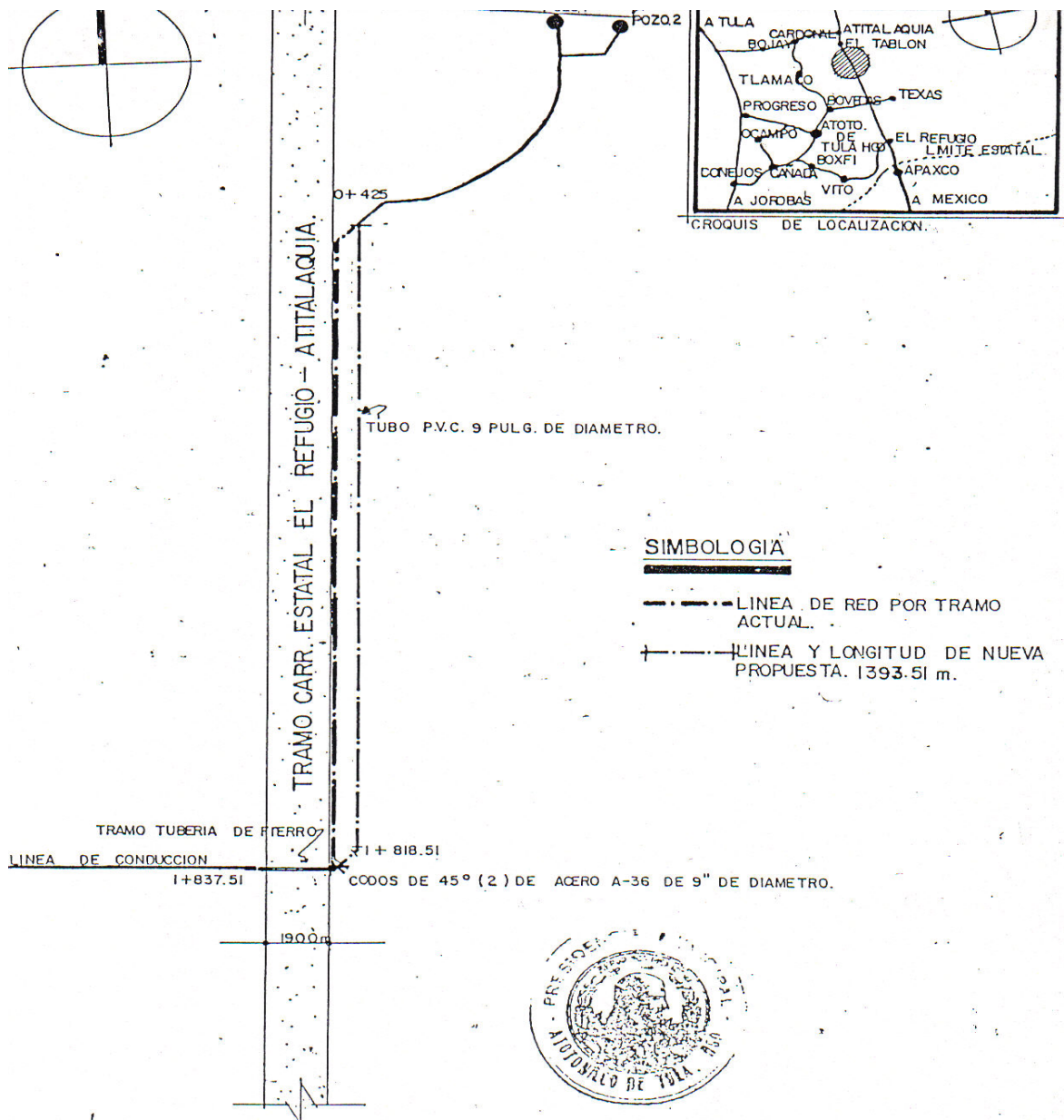


Fig. 18. Croquis de localización de la obra y de la línea de red de conducción de agua potable.

La geología del lugar está formada por basalto-brecha, volcánica básica-calizas y material piroclástico de composición basáltica y terreno limo-arcilloso.

En el tramo ubicado del km. 1 + 425 al 1 + 910 del camino, se localizó una falla geológica que se manifiesta en el pavimento existente. Dicha falla consistió en encontrar el material inferior de la subrasante, hasta una profundidad de 2.50 m, de material sobresaturado de agua, reblandeciendo todo el material hasta la superficie del pavimento existente, donde claramente se denotan las fallas y hundimientos. Posteriormente describiremos el problema con mayor detalle, debido a que es un parteaguas en el proceso de construcción de este camino, que no estaba previsto en el inicio.

Para determinar los bancos de materiales que se usaron en la construcción del pavimento, se tomaron muestras alteradas representativas para los análisis en el laboratorio de varios bancos de materiales, de los cuales se analizaron uno para la subrasante y otro para la sub-base y la base, resultando materiales óptimos y de excelente calidad para su utilización. Se localizó también una planta de producción de cal para la estabilización, así como bancos de pétreo de diferentes tamaños de granulometría, útiles por su comportamiento al ser tratados mecánicamente. Cabe decir, que todos estos materiales ya han sido ensayados con anterioridad y su uso ha sido de excelentes resultados estructurales, por lo que no se puso en duda la aplicación de ellos. En las Fig. 19, Fig. 20, Fig. 21 y Fig. 22, se muestran las gráficas de los informes de materiales de campo del laboratorio para las terracerías.



LABORATORIO DE LA CONSTRUCCION

LABODECO PACHUCA

Atotonilco No. 012

Unidad Artículo 123

C.P. 42080

Pachuca, Hgo.

Tel. 3-81-56

INFORME DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS

Material: MATERIAL DE RECUPERACION PARA 3a. CAPA DE SUB-BASANTE

Fecha: 16/07/97

Procedencia: CAMINO: ATITLALCAYUA - EL REPUJO

Peso Esp. Suelto Kg/m³ 1195
Peso Esp. Máximo Kg/m³ 1595
Humedad Optima % 22.2
Peso Esp. Natural
Humedad Natural
Límite Líquido 32
Índice plástico 9
Contracción Lineal 3.2

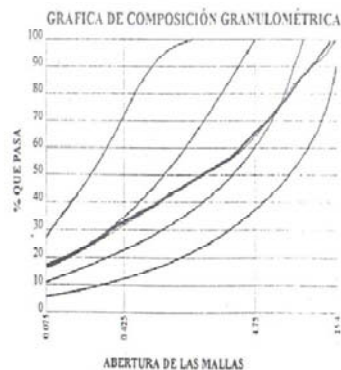
Granulometría:

Tamaño máximo () 2"

Malla	% que pasa
4.75 mm	63
0.425 mm	31
0.075 mm	17
Densidad	

Valor Rd. Soportes:

Estándar % 100.0
Expansión % 0.20
Modificado a 95 % 76.4
Modificado a 90 % 55.4



Clasificación Petrográfica: TIPISTATO LINDO CON GRAVA

Observaciones: EL MATERIAL PRODUCIDO DE LA RECUPERACION DEL PAVIMENTO VIEJO, REUNE CALIDAD PARA SU EMPLEO EN LA CONSTRUCCION DE LA PRIMERA CAPA DE SUB-BASANTE DEL CAMINO.

Fig.19 Informe de materiales para terracerías.



LABORATORIO DE LA CONSTRUCCION

LABODECO PACHUCA

Atotonilco No. 012

Unidad Artículo 123

C.P. 42080

Pachuca, Hgo.

Tel. 3-81-56

INFORME DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS

Material: 3ra. CAPA DE SUB-BASANTE

Fecha: 16/07/97

Procedencia: CAMINO: ATITLALCAYUA - EL REPUJO. LÍMITES DE ESTADOS

Peso Esp. Suelto Kg/m³ 1590
Peso Esp. Máximo Kg/m³ 2055
Humedad Optima % 6.3
Peso Esp. Natural
Humedad Natural
Límite Líquido 33
Índice plástico 5
Contracción Lineal 4.4

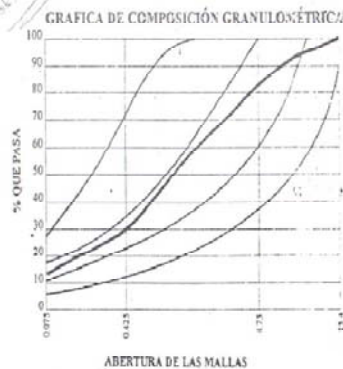
Granulometría:

Tamaño máximo () 2"

Malla	% que pasa
4.75 mm	54
0.425 mm	22
0.075 mm	11
Densidad	

Valor Rd. Soportes:

Estándar % 100.0
Expansión % 0.20
Modificado a 95 % 42.6
Modificado a 90 % 22.4



Clasificación Petrográfica: "SUELO"

Observaciones: DE PROCEDENCIA DIFERENTE ESTE MATERIAL SELECCIONADO CON 2 A 30 GRANOS, PARA CONSTRUIR LA SUB-BASANTE.

Fig. 20. Informe de materiales para terracerías.

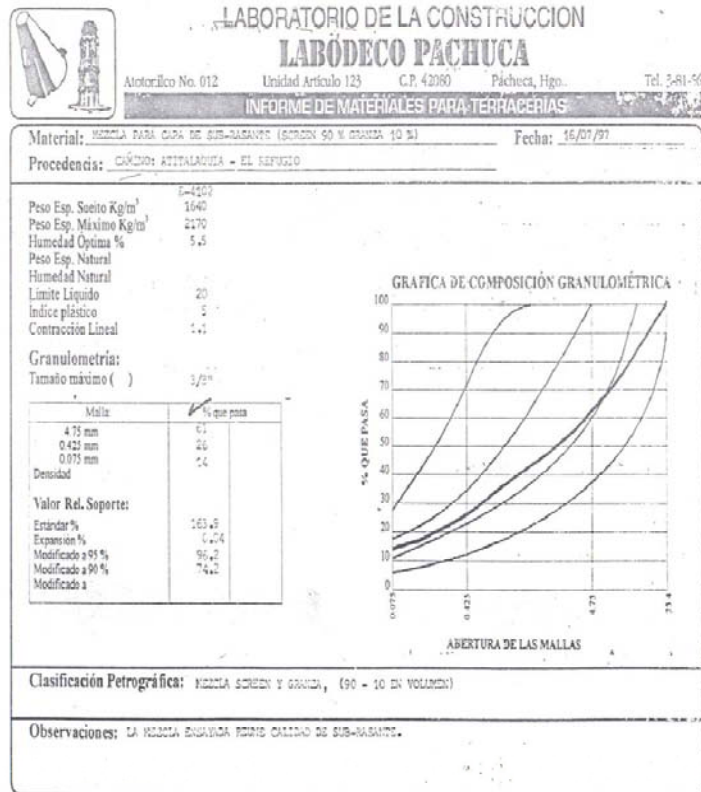


Fig. 21. Informe de materiales para terracerías

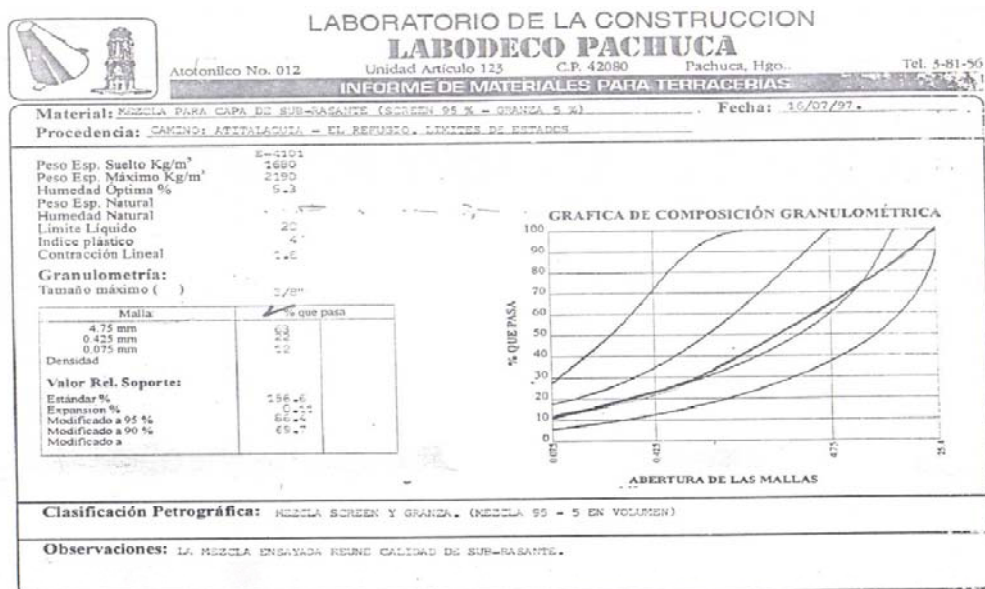


Fig. 22. Informe de laboratorio para materiales ensayados para terracerías y estabilización de suelos.

Además, en dichos bancos existe un material producto de la trituración denominado screen, que es el resultado del proceso de trituración y forma la resaca, material muy conocido en la zona que tiene como propiedades estructurales, un excelente comportamiento a la mecanización, ya que contiene granulometría mínima de agregado; otra característica importante de este material, es que tiene alta plasticidad que al mezclarlo agregándole un pétreo mayor, se reduce la plasticidad sin perder la propiedad de impermeabilidad, dando como resultado un material óptimo para la capa de sub-base y base.

El diseño del pavimento fijado por el proyecto para este camino, se muestra en la Fig. 23

Excavación debajo de la subrasante.

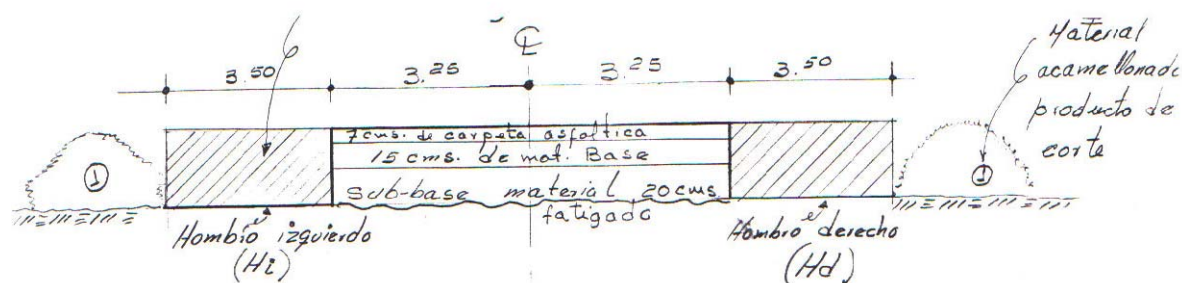


Fig. 23. Diseño final del pavimento. Figura de campo.

Este tramo carretero está clasificado como una carretera estatal y a través de ésta acción de reconstrucción, se logra su modernización, la cual consiste en reconstruir el pavimento existente y ampliarlo en su sección transversal a través de acotamientos laterales y obras complementarias de drenajes y una obra de reubicación de la línea de conducción de agua potable con tubería de P.V.C. de 9" de diámetro, así como señalización horizontal, vertical, preventivas, restrictivas e informativas, diurnas y nocturnas.

La modernización de ésta carretera, tiene una longitud de 3 Km. La reconstrucción va encaminada a rehabilitar el pavimento existente y ampliar su eje transversal en 3.50 Mts. de ambos lados, quedando un cuerpo final de terraplén de 13.50 Mts. útiles.

El proceso constructivo del pavimento está fundamentado en el listado de conceptos de los trabajos a ejecutar, en forma progresiva, además de las especificaciones en las diferentes capas que

constituyen el proyecto de pavimento tipo multicapa. Este proceso de construcción del pavimento, lo vemos desarrollado en forma descriptiva y con el criterio de construcción fijado en el proyecto.

El proyecto constructivo del camino para la ampliación de la sección transversal consistió en excavar en hombros una sección de 40 cms. de profundidad para eliminar el material del producto de la excavación, con un ancho de 3.50 Mts. como se mencionó, y darle un tratamiento de compactación y formación de terraplén hasta alcanzar el nivel deseado del proyecto, es decir, de la superficie terminada, incluyendo la sub-base, la base y la carpeta asfáltica.

Al mismo tiempo se levantó el pavimento central, para aprovechar la carpeta existente y las capas inferiores, como fueron la sub-base y la base. Todas estas acciones se rigieron bajo el trazo y la nivelación fijados por el proyecto. Posteriormente, se construyó la subrasante, la sub-base y la base y la estabilización con cal al mismo nivel de toda la sección transversal, que fueron 13.50 Mts. con todo y sus accesorios de la construcción del pavimento. Y finalmente, se construyó una carpeta asfáltica de 7 cms. de espesor compactos con mezcla en caliente, con agregados de $\frac{3}{4}$ " a finos, riego de impregnación, riego de liga y riego de sello en los acotamientos y por supuesto las obras complementarias de drenaje. Por último, la señalización horizontal y vertical, nocturna y diurna, restrictiva, descriptiva e informativa.

Hago la siguiente acotación, en todo proceso constructivo de un pavimento, existe un arma infalible para demostrar las características de las diferentes acciones que se llevan a cabo durante el proceso de construcción y me refiero a las fotografías, que fueron tomadas en el momento y constituyen la evidencia fehaciente para demostrar las diferentes actividades, desde el inicio hasta el término de los trabajos de la obra; por lo que a continuación, en los dos siguientes capítulos mostraré el proceso a través de fotografías (ilustraciones).

Fundamentalmente el conglomerado de conceptos se basa en las etapas: preliminares, *terracerías, subrasante, sub-base, base, impregnación, carpeta asfáltica y riego de sello.*

Preliminares

- Trazo y nivelación del terreno estableciendo referencias y bancos de nivel con equipo topográfico. Incluye, mano de obra, equipo y herramienta.

La brigada de topografía trazando ejes, bancos de nivel, cadenamientos, etc. y el equipo de nivel y tránsito topográfico, es primordial durante todo el proceso constructivo, ya que significa el desarrollo de la configuración del proyecto, tomando las condiciones anteriores con las condiciones actuales.

Terracerías

- Excavación en corte y adicionales debajo de la subrasante. Material "A".

Este concepto se desarrolla llevando a cabo la excavación de 40 cms. de profundidad en todo el tramo y a cada lado del camino, así como en el corte del terraplén existente (central). Esta acción se lleva a cabo con una motoconformadora, eliminando el material de la ampliación del corte, alojando el material a ambos lados del camino, como se ve en las ilustraciones No.VI. 1, No.VI. 1- A y No.VI. 2.



Ilustración No. VI. 1. Motoconformadora excavando abajo de la subrasante en los hombros y escarificando para levantar la carpeta asfáltica existente.



Ilustración No. VI.1-A. Ruptura y disgregado de la carpeta existente para su futura utilización en el proceso constructivo del pavimento nuevo.



Ilustración No. VI. 2. Motoconformadora levantando capas subyacentes a la carpeta asfáltica existente y pipa de agua realizando riegos.

- Operación de acamellonamiento, tendido y compactación.

Esta operación se lleva a cabo en la capa de la subrasante una vez que el material está suministrado sobre el tramo e incorporando el agua necesaria que marca el laboratorio, según la especificación y como se trata de un material de alta plasticidad e impermeabilidad, el porcentaje de humedad óptima oscila entre el 20 y 25% de agua, en seguida se hace el tendido de este material con la motoconformadora, como se muestra en la Ilustración No. 3

Posteriormente este proceso tiene como continuidad la compactación del 95% proctor, según se ve en la ilustración No. 4



Ilustración No. VI.3. Tendido del material para subrasante en uno de los hombros del camino con la motoconformadora.



Ilustración No. VI.4. Compactación de la capa de subrasante en los hombros de la ampliación.

- Carga de los materiales de corte.
- Sobreacarreo de los materiales producto de las excavaciones de los cortes adicionales debajo de la subrasante. Para el 1er kilómetro.

Estos dos conceptos se realizan extrayendo el material fuera de la obra, en un lugar específico, marcado por la supervisión, que no excedió de un kilómetro; en lugares apropiados y necesarios, realizando esta operación con un cargador y en los camiones de volteo.

- Compactaciones de la cama de los cortes en que se haya ordenado excavación adicional para 90%.

Este concepto se desarrolla a través del vibrocompactador, realizando la compactación dinámica indicada por el laboratorio de 90% proctor.

- Agua empleada para compactaciones.

- Sobreacarreo del agua, para cualquier distancia del agua utilizada en compactación y terracerías.

Consiste en humedecer la superficie a través de un camión-pipa con motobomba, con el agua necesaria para alcanzar la humedad óptima, como se mencionó anteriormente, su suministro es de un pozo a 2 Km. de distancia del centro de gravedad del camino, por lo tanto, no existe ningún tiempo muerto por este concepto y se ilustra en la No. VI.5



Ilustración No.VI.5. Humedeciendo materiales de las terracerías a través del camión pipa con motobomba.

- Escarificado, disgregado, acamellonado de la capa superior de la superficie actual de rodamiento.

El escarificado se lleva a cabo con una motoconformadora, disgregando el pavimento existente y mezclándolo y acamellonándolo con la capa inferior del mismo, incorporándole agua. Ilustración No.VI. 6



Ilustración No.VI. 6. Escarificado, disgregando el pavimento existente, mezclando y acamellonando.

Subrasante.

- Mezclado, tendido y compactación de la capa subrasante formada con material seleccionado.

Este concepto, una vez que se tiene el suministro de los materiales necesarios en la obra, se procede a mezclarlo y humedeciéndolo para su posterior tendido y compactación, se lleva a cabo en capas no mayores a 25 cms. de espesor compactos, hasta alcanzar el nivel requerido de subrasante. Cabe hacer mención que aquí se estabilizó el material de esta capa con cal, a una proporción que nos marcó el laboratorio, del 90-10. Ilustración No. VI.7.



Ilustración No. VI.7. Estabilización del material con una capa de cal.

- Agua empleada para compactaciones.
- Sobreacarreo del agua para cualquier distancia del agua utilizada en compactación.

Se realiza la misma operación que en el suministro de agua en la capa anterior.

Sub-base.

- Operación de mezclado, tendido y compactación de sub-base cuando se empleen dos materiales pétreos, compactados al 95%.

Se realiza con motoconformadora, utilizando dos materiales como son el pétreo de 1 ½" a finos, que una vez que están suministrados se procede a hacer el mezclado con incorporación de agua, para su futuro tendido y compactación, como indica el laboratorio al 95% proctor. Se ilustra en la No. VI.8.



Ilustración No.VI. 8. Mezclado del material con incorporación de agua.

- Agua utilizada en compactaciones de sub-base.

- Sobreacarreo del agua, para cualquier distancia del agua utilizada en compactación.

Se realiza la misma operación que en los conceptos anteriores del suministro de agua.

Base.

- Operación de mezclado, tendido y compactación de base cuando se empleen dos materiales pétreos, compactados al 95%

Una vez suministrados los materiales correspondientes para esta capa, como son el material pétreo de $\frac{3}{4}$ " a finos y el cementante, así como la cal para estabilizarla, se mezclan hasta lograr la humedad óptima y posteriormente se acamellona para realizar el tendido y compactación correspondientes, fijados por el laboratorio al 95% proctor, como se puede ver en las ilustraciones No. 9 No. 10, No. 11



Ilustración. No. VI. 9. Estabilización de la base, mezclado y acamellonado.



Ilustración No.VI. 10. Acamellonamiento, donde se puede ver el mezclado con cal para estabilizar la base, con motoconformadora, incorporando agua en pipa.



Ilustración No. VI. 11. Compactación de la base hidráulica, con rodillos lisos vibratorios. Se puede observar el cuneteo sobre el terreno, en el hombro del camino, como obra complementaria de drenaje.

- Agua utilizada en compactaciones de sub-base.
- Sobreacarreo del agua, para cualquier distancia del agua utilizada en compactación.

Misma operación donde se utiliza el agua para obtener la humedad óptima, en los conceptos anteriores.

Impregnación.

- Barrido de la superficie por tratar.



Ilustración No. VI. 12. Barredora mecánica, efectuando el barrido sobre la base hidráulica terminada, para recibir el riego de impregnación.

- Suministro de materiales asfáltico para impregnación con emulsión RLI-2K.



Ilustración No. VI. 13. Base barrida y preparada para la aplicación del riego de impregnación con petrolizadora.

- Acarreo de los materiales asfálticos del centro productor al almacenamiento medido en los vehículos de transporte o en los envases, por volumen para emulsiones asfálticas. Primer kilómetro.
- Kilómetros subsecuentes.

Estas acciones, se llevan a cabo a través de transportes térmicos de líquidos de las refinerías de PEMEX, que el único productor de estos materiales, al almacenamiento para su debido tratamiento para emulsión asfáltica y su utilización. Considerando la distancia en kilómetros del centro productor, al centro de gravedad de la obra. El riego de impregnación se realiza con material de emulsión catiónica tipo impregnación, a razón de 1.5 Lt/M2 y dejando reposar 48 horas con una penetración sobre la base de 3 a 5 mm. y a una temperatura de 45°C.

- Almacenamiento de los materiales asfálticos en tanques o fosas del contratista.
- Calentamiento y bombeo de materiales asfálticos.
- Riego de impregnación.



Ilustración No. VI.14. Petrolizadora realizando riego de impregnación.

Carpeta Asfáltica.

- Suministro de materiales asfálticos para liga con emulsión RR-2K.
- Acarreo de los materiales asfálticos del centro productor al almacenamiento medido en los vehículos de transporte o en los envases, por volumen para emulsiones asfálticas. Primer kilómetro.
- Kilómetros subsecuentes.
- Almacenamiento de los materiales asfálticos en tanques o fosas del contratista.
- Calentamiento y bombeo de materiales asfálticos.
- Riego de liga.

Todos estos conceptos, se llevan a cabo, después de haber realizado el riego de impregnación y haber cumplido las 48 horas de aplicación. Al igual que el riego de impregnación, se efectúa el mismo tratamiento de acarreo para la liga, para recibir la mezcla asfáltica, a una proporción de 1.00Lt/M2, con emulsión catiónica tipo RR-2K con 65°C para aplicación , como se puede ver en la Ilustración No. VI.15.



Ilustración No. VI. 15. Petrolizadora realizando riego de liga donde se puede observar el riego de impregnación actuando y el trazo de la superficie de pavimentación.

- Suministro de mezcla asfáltica en caliente.
- Acarreo de los materiales seleccionados o de los que hayan tenido un tratamiento de las mezclas y los concretos asfálticos. Primer kilómetro.
- Kilómetros subsecuentes.
- Operación de construcción de las carpetas de concreto asfáltico (solo tendido y compactado).

Una vez aplicado el riego de liga con la temperatura apropiada, considerando que es una emulsión de rompimiento rápido y con una proporción de 1.5 Lt/M2 de aplicación, se procede a realizar la acción del manto para recibir posteriormente la mezcla asfáltica a través de la extendidora, según lo muestra la Ilustración No. VI.16.



Ilustración No. VI.16. Realizando manto con mezcla asfáltica sobre el riego de liga para recibir la carpeta asfáltica.

Se realiza el tendido de la mezcla asfáltica en 7 cms. de espesor compactos, suministrando la mezcla en caliente con las características de $\frac{3}{4}$ " a finos y material asfáltico AC-20, de la planta localizada a 45 Km. del centro de gravedad de la obra y a través de vehículos de transporte tipo volteo, con capacidades de 7 y 14 M3, tendiéndola a una temperatura de 120°C y su posterior compactación con rodillo liso estático a 60 y 80°C. Después se realiza

la compactación con neumático, que tiene con función primordial, la de cerrar los poros de la carpeta. Como se puede observar en las Ilustraciones No.VI.17, No.VI.18 y No.VI.19.



Ilustración No.VI.17. Tendido y compactación de la mezcla asfáltica.



Ilustración No. VI. 18. Acción de tendido de carpeta asfáltica a través de la extendedora de asfalto y camión volteo.



Ilustración No. VI.19. Compactación sobre carpeta con neumático, para cerrar poros.

Riegos de Sello.

- Suministro de material pétreo 3-A.
- Acarreo de los materiales seleccionados o de los que hayan tenido un tratamiento de las mezclas y los concretos asfálticos, medidos en los vehículos de transporte. Primer kilómetro.
- Kilómetros subsecuentes.
- Suministro de materiales asfálticos para liga con emulsión RR-2K.
- Acarreo de los materiales asfálticos del centro productor al almacenamiento medido en los vehículos de transporte o en los envases, por volumen para emulsiones asfálticas. Primer kilómetro.
- Kilómetros subsecuentes.
- Almacenamiento de los materiales asfálticos, en tanques o fosas del contratista.
- Calentamiento y bombeo de materiales asfálticos.
- Riego de Liga.
- Operación de tendido, planchado y remoción de material excedente.

- Carga de los materiales en los almacenamientos
- Agua utilizada en aplicación de liga y humedeciendo el material pétreo (35%).
- Sobreacarreo del agua para cualquier distancia, utilizada en compactación.
- Barrido de la superficie por tratar.

Todos estos conceptos se realizan en una operación escalonada como se menciona en la lista, es decir, una vez que se cuenta con los materiales, como son el pétreo sello 3-A de color negro para el cuerpo del pavimento y el pétreo 3-A rojo para los acotamientos, ambos hombros, se procede de la siguiente forma: se realiza un barrido mecánico para eliminar polvos y sedimentos, teniendo la emulsión de liga a temperatura de 65°C, se aplica primero el sello negro aprovechando la temperatura de liga y compactándola inmediatamente con rodillo liso y neumático, en secciones de tramos no mayores de 20 Mts., procurando tener mucho cuidado en los traslapes en los tramos de las secciones indicadas. Y por último, se aplica el sello 3-A rojo en ambos acotamientos, realizando la misma operación de la compactación del sello central.



Ilustración No. VI. 20. Riego de sello negro sobre carpeta y sello rojo en ambos hombros en acotamientos.

Obras de drenaje.

Aunque la zona donde se desarrolló ésta obra, no es de alta precipitación pluvial, los drenajes forman parte importante en todo camino. Como mencioné en capítulos anteriores,

que el agua era el enemigo número uno de destrucción del pavimento, cuando no se contara con una infraestructura suficiente y bien diseñada de drenajes, la vida útil del camino quedaría mermada. Para esta obra, se realizaron acciones como fueron : la ampliación de las alcantarillas transversales existentes, la formación de las cunetas en forma natural, y afortunadamente, la pendiente longitudinal del camino, se prestó para llevar a cabo una eficiente encausamiento de las aguas de lluvia, facilitando el buen drenado y protegiendo el pavimento.

En las siguientes ilustraciones se puede ver el daño que causaron las lluvias, durante el proceso de construcción en las terracerías, al no contar todavía con un buen drenado de las aguas de lluvia, como se puede ver en las Ilustraciones No. VI.21, No. VI.22 y No.VI.23.



Ilustración No. VI.21. Efectos causados dentro del proceso por lluvias.



Ilustración No. VI.22. Efectos que causan las lluvias en el proceso constructivo, por no contar con un drenaje adecuado (cunetas).



Ilustración No.VI.23. Efectos de deterioro causado por lluvias en los hombros del camino.

Las obras de drenaje consistieron en ampliar las alcantarillas transversales y algunas que por la nivelación del camino, tuvieron que reponerse nuevas con tubería de concreto reforzado de 61 cms. de diámetro con sus consecuentes cabezotes de mampostería de piedra laterales y losas de concreto armado, como se ilustra en las No.VI.24, No. VI.25 y No.VI.26



Ilustración. No. VI.24. Ampliación de las obras de drenaje necesarias para evitar destrucción en el camino.



Ilustración. No.VI.25. Proceso constructivo de obras de drenaje en el camino, a través de tubería de concreto reforzado.



Ilustración. No.VI.26. Proceso constructivo de cabezotes de mampostería en la ampliación de las alcantarillas en las obras de drenaje.

Estos son los conceptos primordiales del proceso constructivo del pavimento para este camino. Como podemos ver, en los conceptos no existe ninguno tendiente a proteger el medio ambiente en los procesos de construcción del pavimento, porque actualmente todavía no existe la cultura y la filosofía, como en otras partes del mundo, de proteger el medio ambiente en los procesos constructivos.

Sin embargo, no puedo dejar de mencionar, que siempre ha sido mi preocupación el cuidar el medio ambiente del lugar de la obra, teniendo cuidado de no contaminar el entorno de la misma y siempre he procurado separar los materiales de desecho y escombros, para colocarlos en sitios apropiados para un mejor aprovechamiento posterior. Y al mismo tiempo mantener la obra en todo su proceso de una manera limpia y procurando realizar la forestación.



Ilustración No. VI. 27. Protegiendo el medio ambiente, colocando los materiales producto de las excavaciones, en lugares apropiados para su aprovechamiento.

También se realizó la señalización preventiva, restrictiva e informativa, los trabajos de señalización horizontal y vertical, como norma en todos los caminos, que consistieron en la raya central blanca y rayas laterales amarillas, ambas con aplicación de microesfera.



Ilustración No. VI. 28. Perspectiva del camino terminado, con la señalización horizontal.

La presencia de la brigada de laboratorio de campo fue constante y primordial para lograr que la calidad de los procesos de construcción del pavimento, tuviera los resultados óptimos. Reflexionando siempre en las condiciones que nos indicaban a través de los reportes y muchas de las veces, teníamos que volver a hacer las operaciones pertinentes, hasta lograr el objetivo. El laboratorio realizó diferentes pruebas como: la compactación de las capas, los espesores de las carpetas asfálticas y las temperaturas de aplicación de las emulsiones, entre otras. Como se muestra en las Ilustraciones No. VI.29, No. VI.30 y No.VI.31



No. VI.29. Laboratorio levantando muestras para compactaciones.



No.VI.30. Laboratorio extrayendo corazones en la carpeta asfáltica para cálculo de espesor.



No. VI.31. Laboratorio haciendo el muestreo en la carpeta asfáltica, extrayendo corazones con máquina extractora.

Durante el proceso de construcción del pavimento de este camino, se detectó y localizó una falla geológica que al principio se creyó que era de poca importancia, sin embargo al realizar diferentes sondeos, nos percatamos que consistía de una longitud de la Estación del km. 1+425 al 1+910, cuya sección transversal oscilaba en los 13 Mts., y conjuntamente con la supervisión de la dependencia, se hizo la visita al lugar de la falla y después de realizar los estudios necesarios y hacer las pruebas en el laboratorio, nos determinaron que se realizara lo siguiente : llevar a cabo una excavación en todo lo ancho de la sección transversal y en toda la longitud de la falla, con una profundidad necesaria hasta alcanzar piso firme.

El resultado del estudio, determinó que existía una corriente subterránea de agua proveniente de la zona montañosa aledaña, donde ocurren precipitaciones pluviales muy altas y la topografía del terreno permitía que el agua subterránea corriera prácticamente que

la misma pendiente longitudinal del camino, atravesándolo en el cadenamiento del camino antes indicado.

También, derivado del estudio, se nos indicó construir un muro de contención de concreto reforzado en la Estación 1+425 que es la parte baja de la falla. Dicho muro debería de ser diagonal y a 25° de deflexión del eje transversal y contar con una media luna y con pendiente transversal para encausar el agua subterránea hacia un pozo de absorción lateral y fuera del eje del camino.

En las Fig. 24 y Fig.25 se ve la planta de diseño del muro hidrológico de contención de concreto armado.

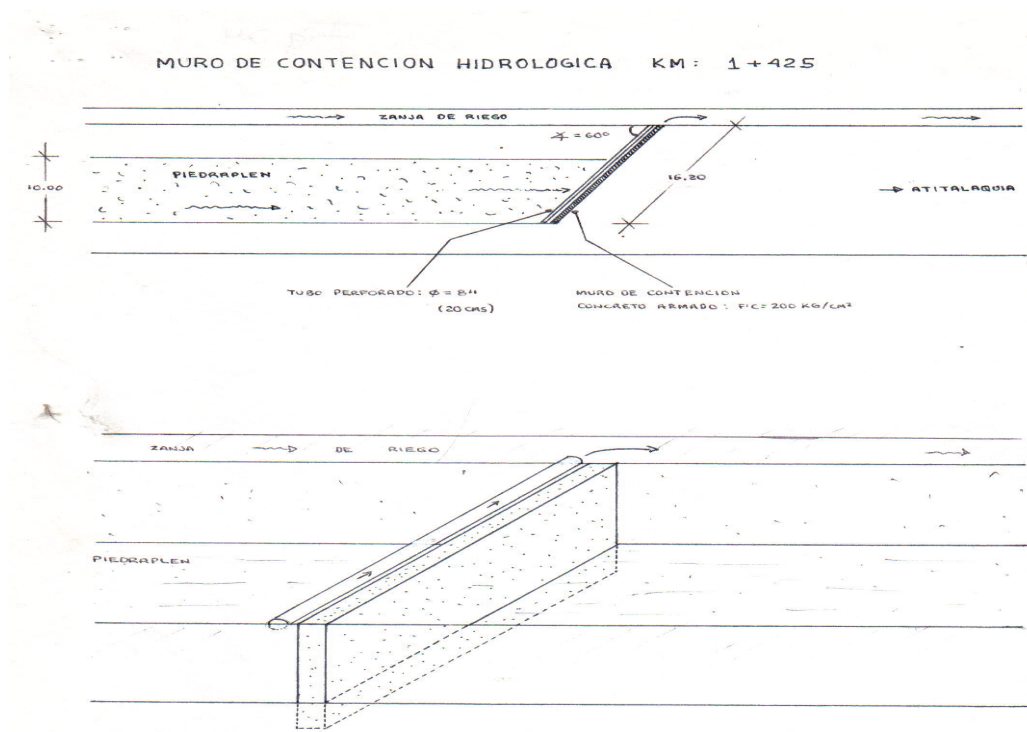


Fig. 24. Planta del muro hidrológico de contención.

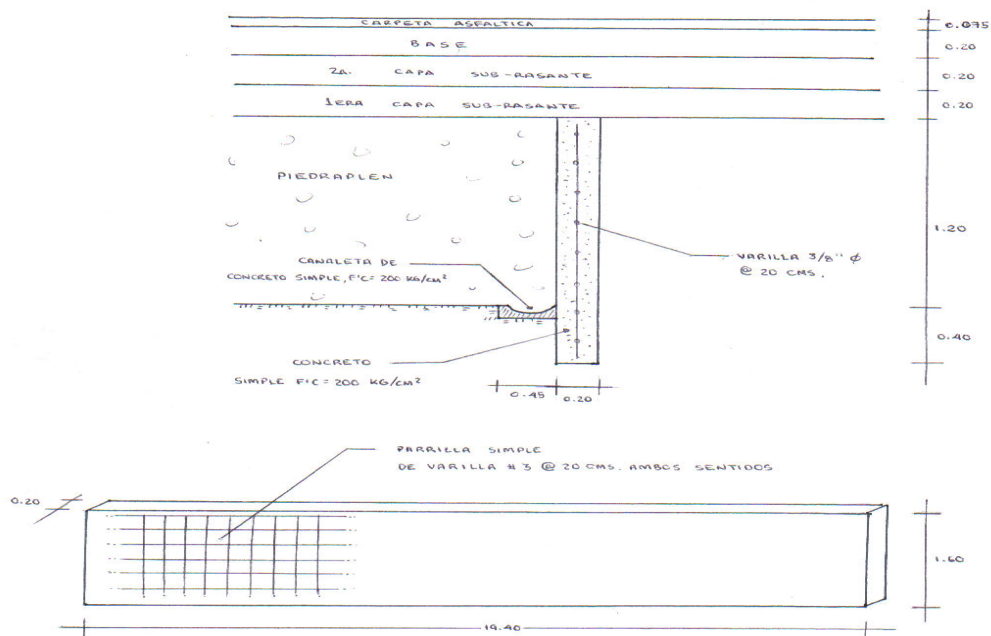


Fig. 25. Corte lateral y detalle del muro hidrológico.



En la Ilustración No. VI.32. Se puede observar el muro de concreto hidrológico construido de concreto armado y en forma diagonal 25° de deflexión y el retenido de aguas hacia el resto del camino, aguas abajo, logrando así, la efectividad proyectada.

La excavación profunda se realizó con una excavadora montada sobre orugas depositando el producto en camiones de volteo como se muestra en la Ilustración No. VI.33 llevando el material fatigado por exceso de humedad, causado por la corriente de agua subterránea y depositándolo en lugares estratégicos, rellenos aprovechables, para no contaminar el área circundante a la obra, hasta alcanzar piso firme. Una vez que se empezó a avanzar en la excavación, el estudio nos indicaba que había que llevar a cabo un relleno o piedraplen formado con piedra de 10" de diámetro en todo el ancho de la sección excavada, con un ancho de 10 Mts. prom. y en la longitud de 485 ml. Y una altura de 1.50 m prom. Este material se suministro de una cantera a una distancia de 25 Km. en los vehículos tipo volteo, depositándolos sobre la excavación y al mismo tiempo, se tendía con un traxcavo sobre orugas y logrando una compactación conjuntamente con la excavadora, hasta lograr el reacomodamiento de la roca. Como se puede ver las Ilustraciones No.VI.33, No.VI.34, No. VI.35, No. VI. 36, No. VI. 37 y No. VI. 38.



Ilustración No. VI.33. Excavando material fatigado de la falla geológica.



Ilustración No. VI.34. Acarreo y colocación de material para piedraplen.



Ilustración No.VI.35. Tendido de material tamaño 10" para piedraplen.



Ilustración No.VI.36. Espesor de piedraplen en falla geológica.



Ilustración No.VI.37. Compactación de piedraplen en falla geológica.



Ilustración No.VI.38. Nivel de piso firme en falla geológica.

Entre las funciones más importantes del piedraplen, es el aspecto estructural por el tamaño del agregado; la función de servir como dren para dejar circular la corriente de agua subterránea sin afectar el volumen de la estructura del pavimento, es decir, evitar hundimientos prematuros o a largo plazo por cambio de volumen; otra función es la de evitar que haya fluido o arrastre de finos dentro del piedraplen provocando deformaciones en las capas superiores.

Provocado por la climatología del lugar, tuvimos en el proceso lluvias que provocaron la inundación completa de la excavación de la falla, provocando grandes contratiempos y daños laterales, así como derrumbes en el propio terreno. Obviamente, la tarea de achicar el agua con equipo de bombeo, como se ilustra en las No. VI.39, No.VI.40 y No.VI.41.



Ilustración No.VI.39. Efecto de la lluvia en la zona de la falla geológica.



Ilustración.No.VI.40. Abatimiento del nivel del agua en la falla geológica.



Ilustración No.VI.41. Abatimiento o achique del agua con motobomba de la falla geológica.

Siguiendo con el proceso de esta falla, la capa inmediata superior del piedraplen fue la de incorporar una capa de 20 cms. de espesor compactos de material caliza o molonque, o conocido con la nomenclatura en el mercado como M-8, que es el producto de una cal muerta, la cual tuvimos que incorporar hasta un 45% de agua para estabilizarla. La función de ésta capa, era sellar el piedraplen y no permitir el fluido de finos entre las rocas que pudieran provocar un cambio volumétrico en las capas superiores a ella. Como se ilustra en la No.VI.42.



Ilustración No.VI.42. Capa de capilaridad formada con cal sobre piedraplen para evitar corriente de fluidos y el arrastre de finos.

Posterior a esta capa de estabilización de cal, se fueron aplicando varias más de 25 cms. de espesor compactos cada una, hasta lograr el nivel de la excavación y en forma consecutiva se construyeron las capas de sub-base, base y carpeta asfáltica. Este proceso se observa en las ilustraciones No.VI.43, No.VI.44 y No.VI.45.



Ilustración No. VI.43. Formación de las capas superiores del piedraplen para alcanzar el nivel óptimo de terracerías.



Ilustración No.VI.44. Aplicando humedad a las capas superiores del piedraplen.



Ilustración No. VI.45. Formación de las capas superiores del piedraplen con materiales seleccionados.

Reubicación de la línea de conducción.

Al realizar la excavación de la falla geológica, se tuvo otra peculiaridad en el proceso porque se encontró una línea de conducción de agua potable sobre el eje del camino de 250 mm de diámetro, por lo que tuvo que ser reubicada paralelamente al camino en el hombro izquierdo, con una longitud total de 1,361.30 m, así como se construyó la continuación a través de la desviación hacia el hombro derecho y hacia la línea existente, como se muestra en la

Fig. 26, donde se ve la sección tipo de la excavación de la cepa y la colocación de la tubería nueva.

La excavación promedio de la cepa de esta tubería fue de 2.00 m y un ancho de 80 cms. que incluye la cama de arena para recibir la tubería y su acostillado y relleno con el mismo material producto de la excavación, hasta el nivel de la superficie, realizando la prueba de presión correspondiente para evitar fugas, resultando favorable dicha prueba.

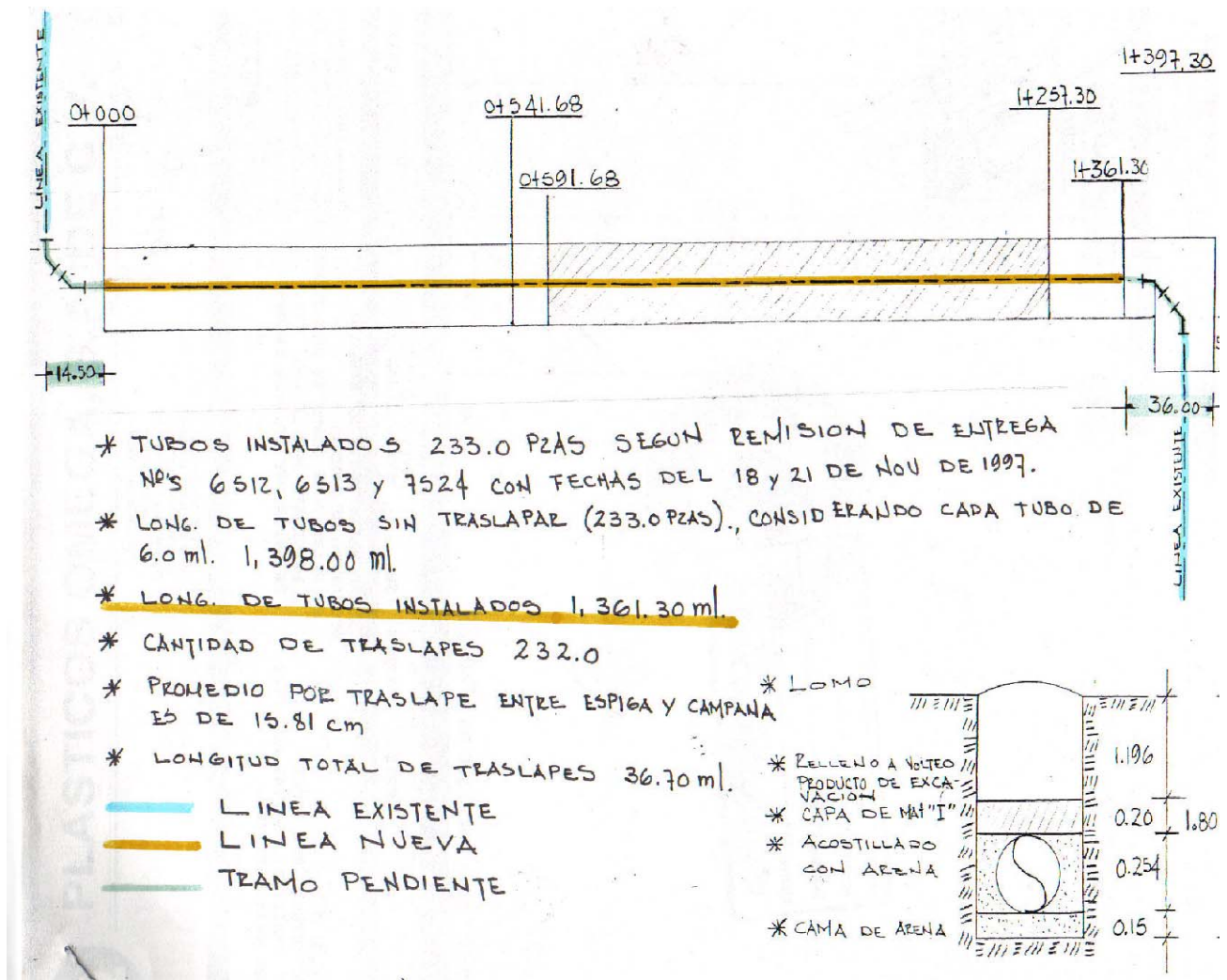


Fig. 26. Cuadro descriptivo de las condiciones del sistema de conducción de agua potable.

A continuación ilustramos la colocación del tubo de conducción, donde se aprecia las condiciones de la excavación en las No.VI.46 y No.VI.47.



Ilustración No.VI.46. Tendido de tubo para S.A.P. sobre la cama de arena.



Ilustración No.VI.47. Perfil de la excavación del S.A.P. y tendido de tubería.

C A P I T U L O V I I

ANALISIS DE LA CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO ASFALTICO DEL C.E. ELOXOCHITLAN- TLAHUILTEPA, TRAMO ELOXOCHITLAN- JUAREZ HIDALGO, ESTADO DE HIDALGO.

Escogí ésta obra, por tener características especiales, ya que en el predominan los movimientos de tierras, los cortes laterales, que son muy importantes en los temas de los procesos constructivos del pavimento y forma parte de mi experiencia profesional, ya que adquirí conocimientos prácticos en este tema. El tramo a analizar, es el camino Eloxochitlán-Juárez Hidalgo, en el Estado de Hidalgo.

Esta obra fue una licitación pública y nos fue adjudicada por el Gobierno del Estado de Hidalgo a través de la Secretaría de Obras Públicas y su Dirección de Comunicaciones y Transportes, en el año de 1992, con la empresa Vías Asfálticas de Hidalgo, S.A. de C.V., de la cual fui dueño y representante legal.

I.CARACTERISTICAS DEL TERRENO ACTUAL.

La localización del tramo, está ubicado geográficamente en la parte central del Estado de Hidalgo y forma parte del camino que tiene origen en el entronque con la carretera federal Pachuca-Tampico, a la altura del puente Venados y finaliza en Tlahuilepa. Este camino tiene una gran importancia ya que sirve de comunicación a un sin número de pueblos y a la vega de Metztlán, que es uno de los potenciales agrícolas más importantes del Estado. En la actualidad el camino cuenta con un pavimento de una longitud de 58 Km. (de Venados a Eloxochitlán), y a nivel de terracería, 40 Km. Este tramo de construcción inicia en el municipio de Eloxochitlán y termina en el municipio de Juárez Hidalgo, ubicado en la Fig. 27.

El tramo motivo de este estudio, se desarrolla sobre la Sierra Madre Oriental, en un terreno geológicamente constituido por tobas arcillosas, de color rojo originarias del terciario superior, la morfología que se ofrece a la vista es de sierras bajas con escarpes verticales y cimas redondeadas que ahogan formaciones de brecha volcánica ácida, de estructura compacta e intemperismo profundo que afectan a la matriz tobacea que ofrecen un fracturamiento vertical, afloran al noroeste de Metztlán.

I.1. TOPOGRAFIA.

El trazo del tramo se manifiesta a lo largo, en forma general, con pendientes descendentes, sobre una configuración topográfica montañosa al inicio y terminando sobre un terreno de lomerío fuerte. El tramo se desenvuelve sobre secciones de balcón, en forma predominante,

donde se puede apreciar la formación masiva de las tobas arcillosas que forman el terreno natural, considerando la extracción de material de corte como 20-80-00 (20% material tipo A-80% material tipo B-00% material tipo C). El desarrollo del tramo presenta un alineamiento horizontal y vertical con pendientes fuertes y anchos de corona reducidos en tramos aislados.

I.2. CONDICIONES METEREOLÓGICAS.

El clima que impera en la zona es el templado húmedo, la precipitación media anual es de 700 mm, con un régimen de lluvias en el período agosto-diciembre, la región pertenece a la cuenca del Río Moctezuma y a la región hidrológica No. 26 del Río Pánuco.

I.3. USO DEL SUELO.

El tipo de vegetación es boscosa con áreas densamente cubiertas por pinos, encinos y asociaciones de ambos, además de pastizales naturales.

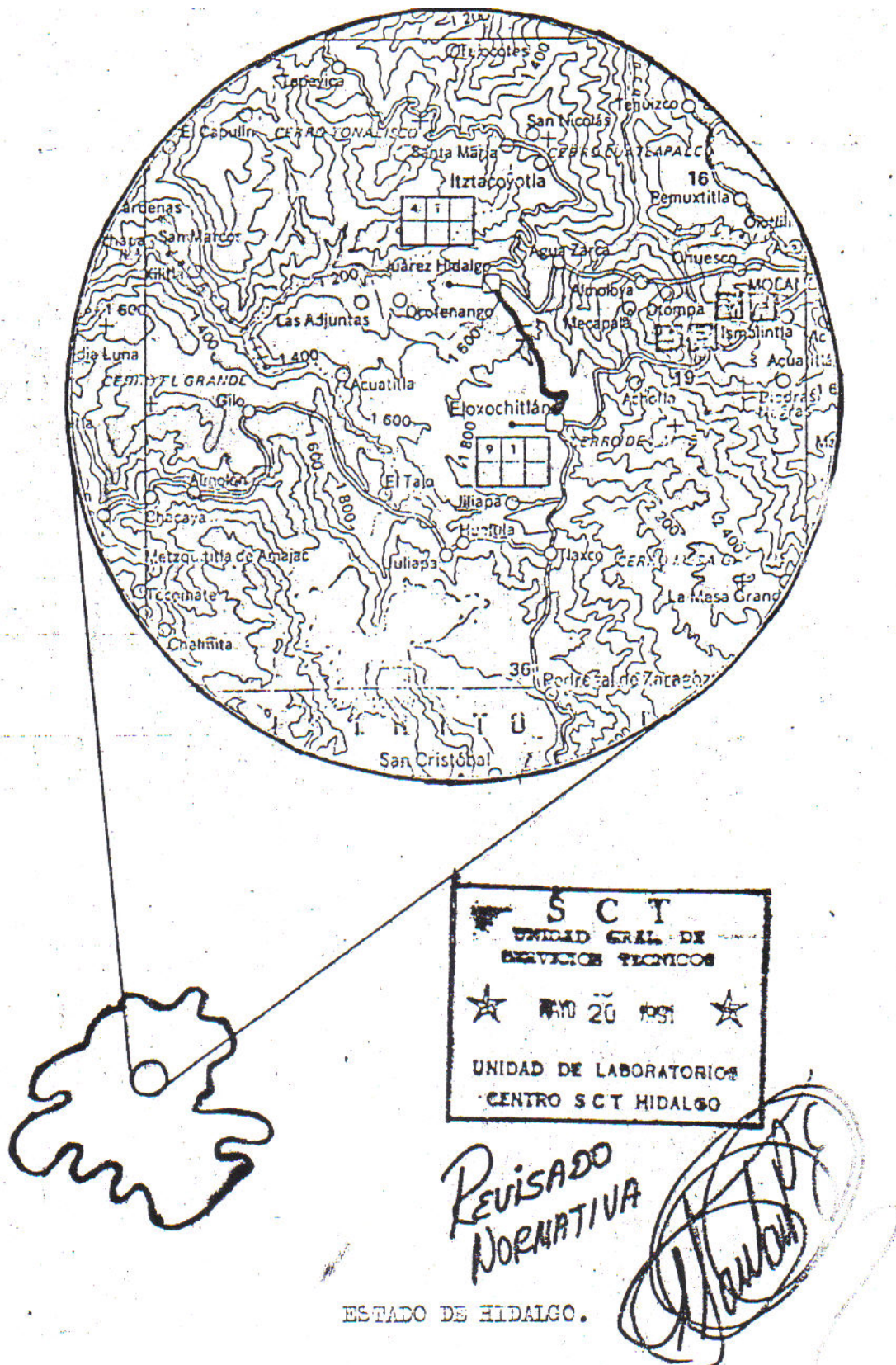


Fig. 27. Se muestra el cuadro de localización del camino.

II. ANTECEDENTES.

El tramo del camino Eloxochitlán-Juárez Hidalgo, tiene una longitud total de 8.00 Km. y con un ancho de sección de 5.00 a 8.00 Mts. de sección, la superficie de rodamiento actual se encuentra a nivel de revestimiento en un estado de deterioro bastante avanzado, aflorando en ocasiones las arcillas que conforman el terreno natural, provocando depresiones del orden de hasta 30 cms., en las roderas de los vehículos, el material de revestimiento producto de una brecha andesítica se manifiesta en ancho promedio de 4.5 Mts. El terreno natural sobre el actual se tendió el revestimiento, están formadas por arcillas con un índice plástico muy alto y una resistencia muy baja, lo que ocasiona inestabilidades en la época de lluvias.

III. LABORATORIO.

Se efectuó una evaluación de forma visual de las características del camino haciendo un recorrido previo, el cual sirvió a su vez para ubicar los lugares donde se efectuaron sondeos del tipo de pozo a cielo abierto sobre la superficie de rodamiento actual y extraer muestras del terreno natural que es el que servirá de base para soportar la estructura del pavimento.

Se tomaron muestras alteradas representativas del terreno natural para evaluar por medio de pruebas de calidad en el laboratorio, sus propiedades físicas y sus valores de resistencia, realizando las siguientes pruebas en el laboratorio:

Composición granulométrica.

Límites de consistencia.

VRS estándar.

VRS modificado variante II.

Expansión.

Determinación de pesos volumétricos.

Determinación de humedades (óptima y natural).

Se realizó la búsqueda de bancos de material necesarios para las diferentes capas del pavimento por los lugares aledaños a la zona, a los cuales se les tomaron muestras alteradas representativas para efectuarles las pruebas de calidad correspondientes para el uso que se les pretende emplear.

IV. ANALISIS DEL TRÁNSITO.

Se realizó la cuantificación de los vehículos que circulan por el camino, y estimando el tránsito inducido al realizar la pavimentación, se manifiesta la siguiente distribución vehicular:

<u>V e h í c u l o</u>	<u>P o r c i e n t o</u>
A 2	50
A 2	30
B 2	14
C 2	4
C 2	2

Considerando un tránsito diario promedio anual de 500 vehículos distribuidos en un 50% en ambos sentidos, una tasa de crecimiento anual del 5% y un período de diseño de 10 años.

Empleando el método del Instituto de ingeniería de la UNAM se determinó una suma de ejes equivalentes del 8.5×10^5 .

V. DISEÑO DEL PAVIMENTO.

V.1. CRITERIO DE DISEÑO.

Para efectuar el diseño de la estructura del pavimento y de las terracerías se consideró el criterio del Instituto de Ingeniería de la UNAM que considera en su método de diseño de

pavimentos flexibles, para un nivel de confianza del 80%, resultan los siguientes espesores requeridos.

V.2. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

<u>Capa</u>	<u>Estructura Cms.</u>
Carpeta asfáltica	Carpeta de dos riegos.
Base hidráulica	20.0
Capa sub-rasante	30.0

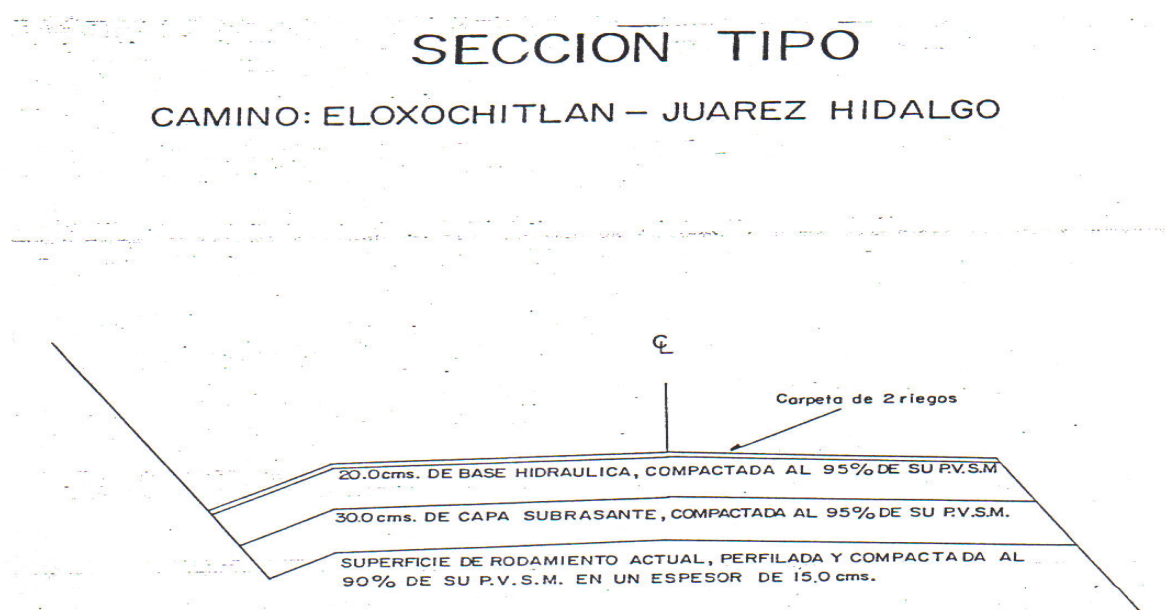


Fig. 28. Diseño de las capas del pavimento del camino.

VI.CONCLUSIONES GENERALES.

Contemplando en un panorama general todas las características del camino, como son la resistencia del terreno natural, el índice de tránsito y su configuración vehicular, los espesores requeridos para soportar los coeficientes de daño. Se concluyó lo siguiente: la capa de revestimiento actual aunque tenga una calidad para sub-rasante no funciona como tal, ya que no cubre todo el ancho de corona necesario, además de que el terreno natural no reúne la calidad para sub-rasante por lo que es necesario construir una capa sub-rasante de 30.0 cms. de espesor, una capa de base de 20.0 cms. y una carpeta asfáltica a base de dos riegos, empleando para ello los siguientes procedimientos de construcción.

VII.PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION.

Primeramente se debe contemplar el proyecto geométrico del camino, que consiste en hacer los trazos y las nivelaciones tanto de los cortes laterales, como de la subrasante a través de desarrollar las estaciones y los cadenamientos pertinentes en todo el tramo de los 8.00 Km. El cálculo de las secciones longitudinales y transversales, para ir logrando la configuración del proyecto. Todo esto se realiza a través de la brigada de topografía con los aparatos de nivel y tránsito, con las balizas y estadales, estacas, etc.

Cabe hacer mención que el factor del clima influyó de manera directa en el proceso de construcción del pavimento, ya que en la zona predomina una alta precipitación pluvial característica del lugar debido a que se encuentra a una altura de más de 2,000 m sobre el nivel del mar, provocando exceso de humedad y saturando los materiales que componen las diferentes capas del pavimento teniendo tiempos muertos de muy larga duración, afectando los directamente los costos de la obra.

El proyecto geométrico significa la configuración de dos ejes., vertical y horizontal, sobre el terreno, según nos marque el procedimiento de construcción en las diferentes capas y movimientos de tierras. El proyecto geométrico es un tema muy extenso, que no analizaremos con detalle en este trabajo, ya que nos desviaría la atención del tema principal.

- A) Sobre la superficie de rodamiento actual, se perfilará y compactará al 90% de su peso volumétrico seco máximo AASHTO estándar, compactando un espesor de 15.0 cms. formando el bombeo y la sobre elevación requeridas, Fig. 29 y Fig. 30

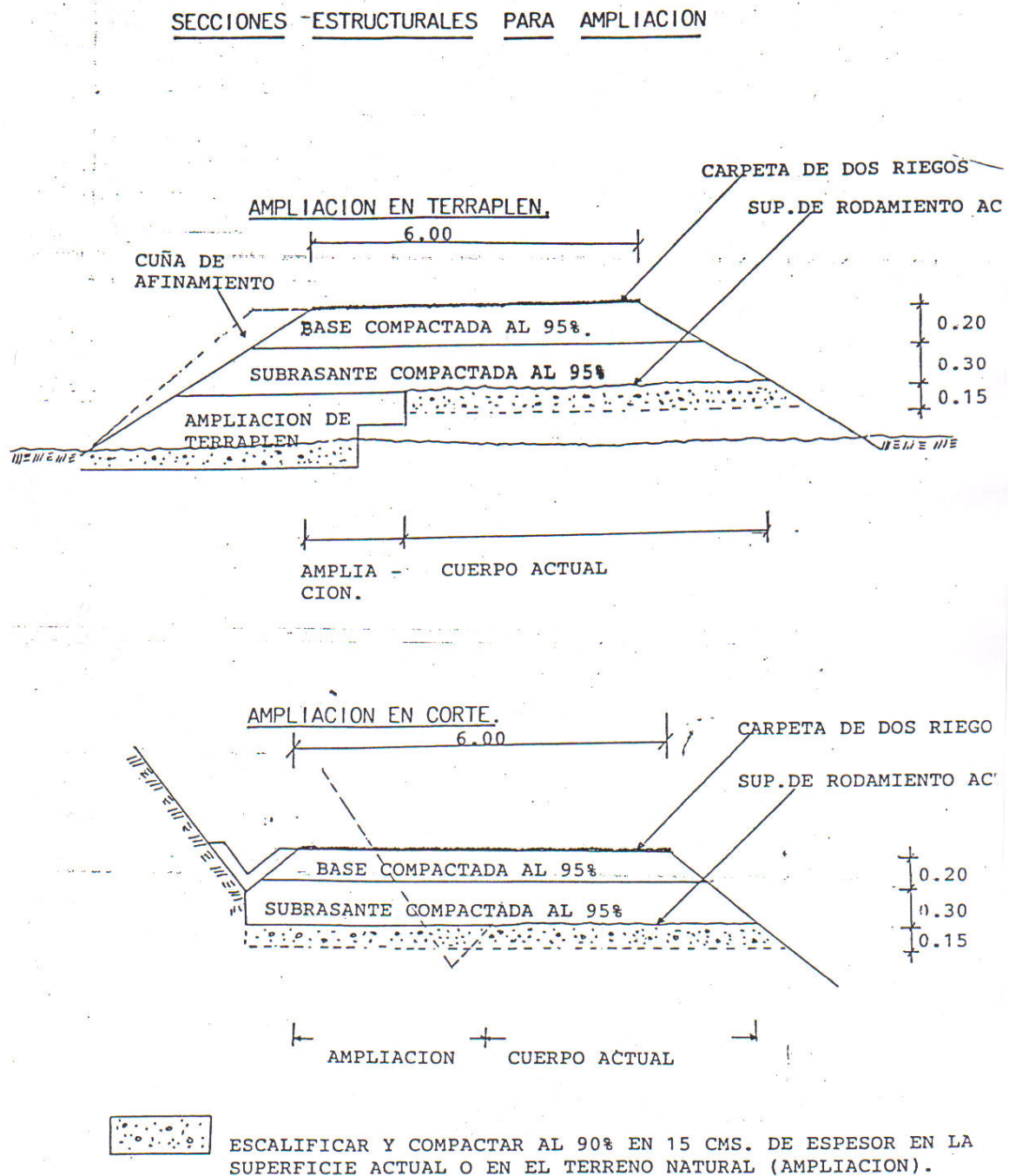


Fig. 29. Diseño estructural del pavimento.

SECCIONES ESTRUCTURALES PARA AMPLIACION

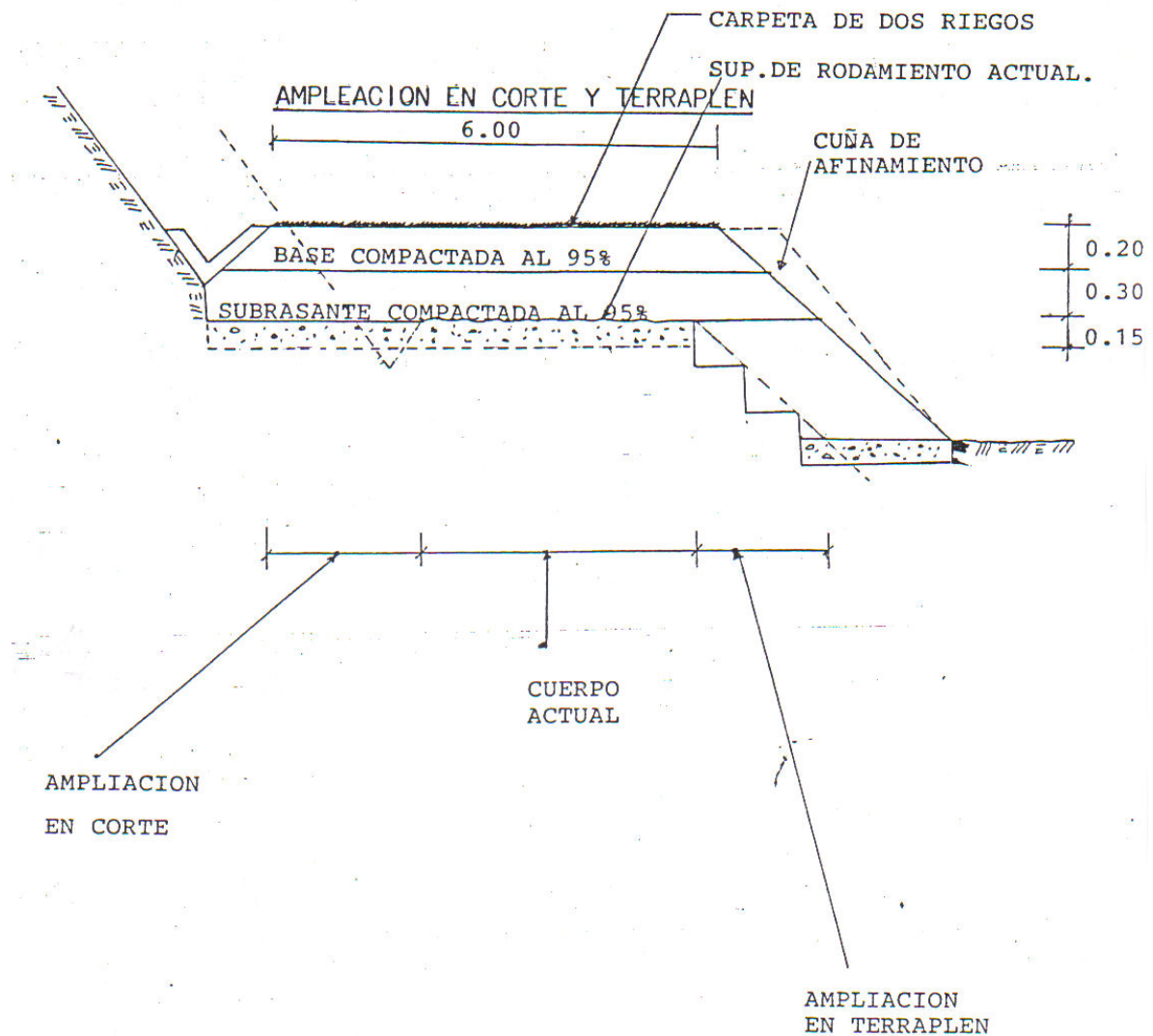


Fig. 30. Diseño de ampliación del pavimento del camino.

- B) Sobre esta superficie, se construirá una capa subrasante en un espesor de 30.0 cms. con material producto de banco, empleando tamaño máximo de 3" y compactando al 95% de su peso volumétrico seco máximo AASHTO.

- C) Sobre la capa anterior se construirá una capa de base hidráulica con espesor de 20.0 cms. con material producto de banco, cribado a tamaño máximo de 1 ½" y compactando al 95% de su peso volumétrico seco máximo AASHTO.
- D) Una vez barrida superficialmente seca la superficie de la base, se efectuará un riego de impregnación con producto asfáltico de fraguado medio FM-1 a razón de 1.5 Lts/M2, dosificación que deberá ajustarse dependiendo de la textura de la base.
- E) Después de la impregnación se efectuará un barrido enérgico y se aplicará el primer riego empleando para ello un material pétreo de sello No.2 y un producto asfáltico rebajado FR-3 en proporción de 10.00 Lts/M2 y 1.2 Lts/M2 respectivamente pétreo y asfalto.
- F) Previo al segundo riego se deben retirar todas las partículas sueltas del material pétreo y polvo por medio de un barrido enérgico.
- G) Aplicar el segundo riego con un material pétreo de sello 3-A y producto asfáltico FR-3 en proporción de 10.00 Lts/M2 y 1.2 Lts/M2 respectivamente (estas proporciones deberán ajustarse a la hoja del riego, dependiendo de las características del sello).
- H) Retirar las partículas de material suelto por medio de barrido y dotar al tramo de señalamiento horizontal y vertical para garantizar la seguridad del tránsito.

Como se puede observar, anteriormente se utilizaban productos asfálticos para los riegos de un tipo cuyo origen era exclusivamente de PEMEX pero hoy en día, como ya analizamos en capítulos anteriores, predominan las emulsiones asfálticas que suplen a estos productos y que son elaborados en plantas privadas ubicadas en todo el territorio nacional y que por cierto tiene características de alta eficiencia en su aplicación. Las funciones de cada producto asfáltico, anterior y actual, no son diferentes, lo que ha cambiado es que las anteriores fueron sacadas del mercado por ser altamente contaminantes, porque con cada calentamiento que se les aplicaba, expedían a la atmósfera solventes altamente tóxicos. Hoy

las emulsiones son prácticamente un corte químico que evita que los solventes se vayan a la atmósfera.

En los tramos donde sea necesario hacer cortes o terraplenes para ampliar la corona, se deberá dejar el terreno natural a nivel de la superficie actual para que la subrasante se construya en todo lo ancho y formar así la subcorona.

Es necesario y vital disponer durante toda la construcción de una brigada de laboratorio para valorar en ese momento, la calidad requerida por la Dependencia.

Considerar un ancho de calzada de 6.00 Mts. mínimo para este camino, clasificado tipo C, ya que al aumento de velocidad, se incrementa el riesgo de accidentes.

Debe tomarse especial cuidado de no traslapar las juntas longitudinales y transversales en los tramos de los riegos de asfalto, para evitar el afloramiento de este en la superficie de rodamiento e inestabilidad prematura.

VIII.DRENAJE.

Se construirán las alcantarillas necesarias que marque el proyecto y la topografía para encausar el agua pluvial debidamente y evitar así destrucciones parciales o totales sobre el cuerpo del pavimento. Es decir, que en donde exista corte lateral, deberá de construirse las cunetas revestidas con concreto hidráulico y también las contracunetas necesarias.

En el Km. 1+850 existe un escurrimiento de agua a través del camino, por lo que sería recomendable construir una obra de drenaje previo a la pavimentación.

Y finalmente, se enlista el cuadro de bancos con los materiales que cumplen con los requisitos para ser utilizados en esta obra.

CUADRO DE BANCOS				
No.	NOMBRES	UBICACIÓN	TRATAMIENTO	EMPLEO
1	S/N	KM: 32+100 l/derecho- Camino: Metztlán- Eloxochitlán.	Disgregado	Subrasante
2	S/N	KM: 1+700 l/derecho- Camino: Juárez Hidalgo- Tlahuiltepa.	Disgregado	Subrasante
3	S/N	KM: 26+000 d/derecha- A 600 Mts. Camino: Metztlán-Eloxochitlán.	Cribado	Base y/o Subrasante
4	S/N	KM: 11+100 l/izquierdo Camino: Molango- Eloxochitlán.	Cribado	Base y/o Subrasante
5	S/N	KM: 1+500 l/derecho Camino: Juárez Hidalgo- Tlahuiltepa.	Agua	Terracerías Subrasante y/o Base

A continuación presentamos los informes de los ensayos de los materiales apropiados para las capas de sub-base o subrasante y base hidráulica, estudiados por el laboratorio.

INFORME DE TERRACERIAS

CUBA MUESTRA TOMADA DEL BANCO UBICADO EN EL KM. 1 +700 LADO DERECHO
DEL CAMINO " JUAN DE HCO. - TLAILTEPA "

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

MATERIAL: BRECHA ANDESITICA

ESTACION		MUESTRA TOMADA DEL BANCO	
CAPA			
LADO			
TAMANO MAXIMO		3 1/2 "	3 1/2 "
% RETENIDO EN MALLA DE 75 mm		6	5
% QUE PASA MALLA DE 4.75 mm		30	32
" " " " DE 0.425 mm		5	8
" " " " DE 0.075 mm		2	4
EQUIVALENTE DE HUM DE CAMPO %		-	-
LIMITE LIQUIDO %		26	24
INDICE PLASTICO %		6	6
CONTRACCION LINEAL %		3.4	3.5
P.E.S. SUELTO kg/m ³		1525	1550
P.E.S. MAXIMO kg/m ³		1960	2310
HUMEDAD OPTIMA %		8.2	8.3
HUMEDAD NATURAL %		-	-
COMPACTACION DEL LUGAR %		-	-
V.R.S. ESTANCAR SATURADO %		132.3	127.3
EXPANSION %		0.7	0.8
TIPO DE PRUEBA		PORTER MODIFICADA VARIANTE II	
90 % COMP	HUMEDAD DE PRUEBA %	11.2	11.3
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE %	90.3	88.6
	ESPESOR REQUERIDO, cm	-	-
95 % COMP	HUMEDAD DE PRUEBA %	9.7	9.8
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE %	112.2	105.3
	ESPESOR REQUERIDO, cm	-	-

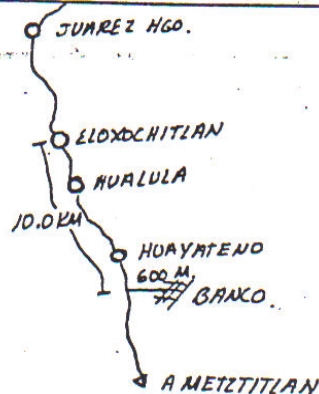
Fig. 31. Informe del laboratorio de las características físicas
del material de terracerías.

INFORME DE ENSAYE EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

MUESTRA TOMADA DEL BANCO UBICADO EN EL KM: 26 + 000 DESVIACION DERECHA
600 MTS. DEL CAMINO " METZTITLAN- LLOXCHITLAN "

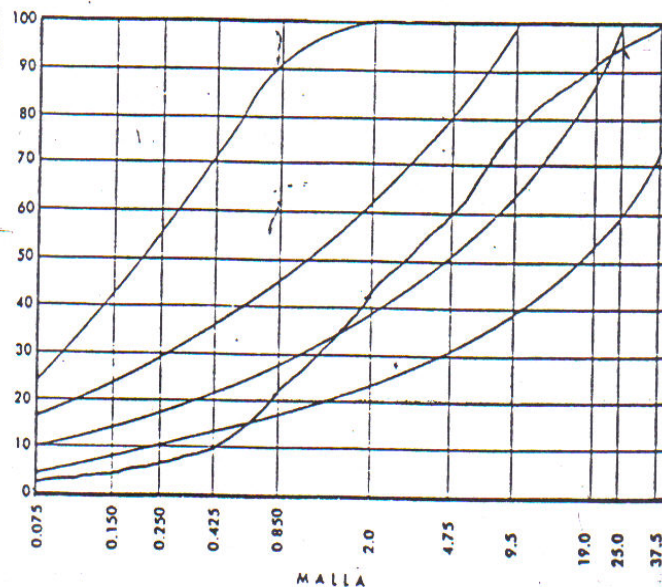
P.E. SECO SUELTO kg/m ³	1512
P.E.S. MAXIMO kg/m ³	1934
HUMEDAD OPTIMA %	10.5
P.E. DEL LUGAR kg/m ³	—
HUMEDAD DEL LUGAR %	—
ABSORCION %	4.0
DENSIDAD	2.25
LIMITE LIQUIDO %	25
LIMITE PLASTICO %	18
INDICE PLASTICO %	7
V.R.S. (ESTANDAR) %	180.1
EXPANSION %	0.1
VALOR CEMENTANTE kg/cm ²	—
EQUIVALENTE DE ARENA %	68.2
CONTRACCION LINEAL %	2.0

UBICACION BANCO



MATERIAL DE GRAVA ARCOSA REDONDEADA.

COMPOSICION GRANULOMETRICA		
EN 37.5	100	
	% QUE PASA	
50.0		
37.5	100	4
25.0	96	4
19.0	92	22
9.5	70	10
4.75	60	16
2.00	44	21
0.85	23	14
0.425	5	3
0.250	6	2
0.150	4	1
0.075	3	3



OBSERVACIONES

Fig. 32. Informe del laboratorio de los materiales para la sub-base y base.

INFORME DE TERRACERIAS

OBRA MUESTRAS TOMADAS DEL TERRENO NATURAL DEL CAMINO:
" BLOXOCHEILAN DE JJAREZ HGO. "

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

MATERIAL: ARCILLA DE COLOR ROJO (SG)

ESTACION	KM: 2 + 500	
CAPA	TERRENO NATURAL	
LADO	SONDEO No. 3	
TAMARO MAXIMO	1/4 "	
% RETENIDO EN MALLA DE 75 mm	-	
% QUE PASA MALLA DE 4.75 mm	90	
" " " " DE 0.425 mm	44	
" " " " DE 0.075 mm	12	
EQUIVALENTE DE HUM. DE CAMPO %	-	
LIMITE LIQUIDO %	64	
INDICE PLASTICO %	34	
CONTRACCION LINEAL %	9.2	
P.E.S. SUELTO kg /m ³	1110	
P.E.S. MAXIMO kg /m ³	1460	
HUMEDAD OPTIMA %	24.1	
HUMEDAD NATURAL %	16.3	
COMPACTACION DEL LUGAR %	83.1	
V.R.S. ESTANDAR SATURADO %	7.3	
EXPANSION %	10.8	
TIPO DE PRUEBA	PORTER MODIFICADA VARIANTE II	
90 % COMP.	HUMEDAD DE PRUEBA %	27.1
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE %	5.1
	ESPESOR REQUERIDO, cm	-
95 % COMP.	HUMEDAD DE PRUEBA %	25.6
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE %	7.2
	ESPESOR REQUERIDO, cm	-

Fig. 33. Informe de terracerías a través de muestras tomadas del terreno natural del campo, donde se indican las características del material.

Finalmente, exponemos el reporte fotográfico del proceso constructivo del pavimento del camino Eloxochitlán-Juárez Hidalgo, Estado de Hidalgo, a base de 2 riegos de sello 3-A, recordando que siempre son la mejor evidencia del sistema, la forma y el método que se llevó a cabo en cada uno de los trabajos realizados.



Ilustración No. VII.1. Excavación lateral y debajo de la subrasante.



Ilustración No.VII.2. Excavación en corte lateral de ampliación de sección.



Ilustración No. VII.3. Humedad óptima en la capa de subrasante.



Ilustración No. VII.4. Banco de material para la subrasante.



Ilustración No. VII.5. Banco de material para la base.



Ilustración No. VII. 6. Suministro de material para base hidráulica.



Ilustración No. VII. 7. Capa de base hidráulica.



Ilustración No. VII. 8. Base hidráulica y obra de drenaje, formación de cuneta de concreto hidráulico.



Ilustración No. VII.9. Obra de drenaje, alcantarilla transversal de lámina acanalada inoxidable y cabezote.



Ilustración No. VII.10. Barrido mecánico de la base.



Ilustración No. VII.11. Riego de impregnación.



Ilustración No. VII.12. Tendido del primer riego de sello 3-A.



Ilustración No. VII.13. Segundo riego de sello 3-A.



Ilustración No. VII.14. Superficie terminada del pavimento con dos riegos de sello.

Expuse estas dos obras, porque son los ejemplos más representativos de mi experiencia profesional, porque en ellas se llevaron a cabo los ejercicios de la clasificación y el comportamiento de los materiales apropiados para pavimentos, desde una carpeta asfáltica en caliente hasta una carpeta con el sistema de dos riegos de sello, la distancia en la vida útil entre uno y otro es muy grande, debido a que el pavimento del camino Atitalaquia-Texas, tiene un aforo vehicular arriba de 1,500 TPDA o mayor, con la factibilidad de crecer aún más y está ubicado en la zona más productiva del Estado de Hidalgo, además de tener la facilidad de contar con los bancos de materiales cercanos y de excelente calidad probada para la industria de los pavimentos. Y el camino de Eloxochitlan-Juárez Hidalgo, es de penetración, que fundamentalmente beneficia a la población rural, por lo que la inversión en pavimentos es menor, significando esto, no que sea de menor calidad, pero sí de menor vida útil.

Estas obras enriquecieron mi vida profesional ya que hoy cuento con la experiencia suficiente para desarrollar en cada caso que se me presente, el mejor de los criterios para aplicar las técnicas y el uso de los materiales, que sirven para la construcción de los pavimentos, porque conozco los diferentes tipos de materiales, sus características físicas y estructurales y su comportamiento al mezclarse entre sí y a los tratamientos mecánicos, para obtener pavimentos durables, de gran calidad y una larga vida útil, preocupado siempre por estar al día en las tecnologías de vanguardia que van surgiendo.

CONCLUSIONES

De todos los análisis realizados en este trabajo, se desprende que no existe un procedimiento fundado en una teoría general, producto de un conocimiento metodológico seguro, que permita diseñar los pavimentos flexibles. De hecho, parece que puede concluirse que no se conoce con el detalle suficiente el funcionamiento estructural de los mismos.

Resultando que el buen comportamiento de un pavimento flexible, depende más de los materiales empleados en construirlo y de las condiciones de trabajo de los mismos (por ejemplo, drenaje y subdrenaje) que del uso preferente de un determinado método de diseño. A este respecto, parece fundamental considerar la tecnología de pavimentos, como una parte de la geotecnia aplicada.

Las condiciones particulares de México, y probablemente de todo el mundo, parecen imponer la necesidad de dosificar el riesgo relativo aceptando los mayores en las capas superiores, minimizándolo en las inferiores, a fin de llegar a operaciones de conservación y/o reconstrucción y refuerzo que ocurra superficialmente, creciendo la estructura hacia arriba, con pleno aprovechamiento de lo ya hecho.

Parece desprenderse de las condiciones actuales, que el costo de operación del transporte y después el costo y frecuencia de las acciones de conservación y/o refuerzo, deben ser el modelo de diseño de los pavimentos flexibles, antes que el costo de construcción inicial. Obviamente esta conclusión es tanto más válida, cuanto más ocupada sea la carretera o la aeropista y mayor sea la posibilidad de crecer en ocupación.

El comportamiento de los pavimentos flexibles depende en gran medida de condiciones no incluidas necesariamente en los métodos de diseño estructural. La temperatura, las condiciones de drenaje de la zona o región, la hidrología y otras, pueden jugar papeles muy importantes y frecuentemente pueden ser objeto de consideración del responsable del diseño geométrico y geotécnico de la carretera o de la aeropista, con muy adecuadas repercusiones en el resultado final.

De un análisis comparativo de los resultados de los métodos de diseño, pueden existir diferencias importantes por los niveles de tránsito; el número estructural de un pavimento puede variar en más del 100% al cambiar el método de diseño. Estas diferencias tienden a

agudizarse al aumentar la intensidad de tránsito. Es decir, es una consecuencia de la falta de un planteamiento científico del problema y de las diferentes concepciones y experiencias de quienes propusieron los métodos.

En los métodos de diseño de los pavimentos flexibles de carácter empírico, los elementos de cálculo no alcanzan a cubrir niveles de tránsito relativamente altos como pueden ser, por ejemplo, los de 30-40,000 vehículos diarios en ambos sentidos para carreteras, no pueden manejarse con las tablas y gráficas proporcionadas, cuando se usan tasas de crecimiento y porcentajes de vehículos pesados que ya son frecuentes en las prácticas actuales. Este hecho confirma el origen empírico de estos métodos, pues en su origen, la mayoría de los niveles de tránsito eran más bajos que los actuales y correspondientemente, existía menos conocimiento experimental al respecto.

Los cálculos comparativos realizados, introduciendo los costos de construcción inicial, de todas las acciones de conservación y de la operación vehicular terrestre y aérea, confirman y cuantifican la enorme importancia de los dos últimos y en especial el tercero. En algunos cálculos se ve que un gasto adicional de 50 o 60% en el pavimento inicial puede reducir el costo de operación en 30 años en 200 o más veces.

Las tendencias de la investigación actual en lo que se refiere a los métodos de diseño, indican una preferencia marcada por el desarrollo de métodos mecanicistas. Estos métodos utilizan las soluciones basadas en las teorías de la elasticidad y viscoelasticidad, que están edificadas sobre hipótesis simplificadoras que parecen no ser satisfactorias para quien tenga experiencia de materiales y de comportamiento de pavimentos. De hecho, la confiabilidad actual de esos métodos es baja.

Los criterios de deterioro aceptados actualmente, incluyen el agrietamiento por fatiga y las deformaciones permanentes. Es usual relacionar el primero con la deformación unitaria máxima a tensión en el plano inferior de la capa asfáltica, y el segundo con la deformación unitaria máxima a compresión en la subrasante únicamente. Sin embargo, se considera que lo más razonable es realizar la acumulación de deformaciones debidas a cada una de las capas del pavimento.

En lo que respecta a materiales asfálticos, el programa americano de investigación sobre carreteras, denominado SHRP (Strategic Highway Research Program) ha propuesto nuevos procedimientos de ensaye y especificaciones para asfaltos, que pretenden relacionarse directamente con el comportamiento esperado del pavimento. Sin embargo, la investigación realizada sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas, que constituyen realmente la capa superior de los pavimentos flexibles, es muy limitada. De hecho, no existe un procedimiento definido para el control de deformaciones permanentes en la carpeta asfáltica. El programa SHRP, propone recomendaciones al respecto basadas en la selección de materiales y en las técnicas de diseño de la mezcla, usando criterios fundamentalmente empíricos.

Es así como la validación del programa de investigación SHRP depende del comportamiento observado, a largo plazo, de pavimentos de prueba completamente instrumentados. Los tramos que se están utilizando en el campo para seguir la evolución de variables, están sujetos a todas las incertidumbres de los pavimentos en los últimos 200 años, lo que hace temer que exista en este aspecto, una actitud optimista en relación al futuro.

Los trabajos del SHRP en el laboratorio, han producido ya algunos instrumentos y métodos de experimentación que parecen prometedores y ventajosos; también han arrojado cierta luz sobre clasificación, tipología y utilización conveniente de diferentes tipos de asfaltos y algunos nuevos. En general, estas técnicas de laboratorio ofrecen un panorama alentador; sin embargo, quizá se deba echar de menos un esfuerzo mayor dirigido hacia las mezclas asfálticas, que en la actualidad parece que se han omitido en comparación con el producto asfalto.

En México actualmente, quizás derivado de este método americano, tiene cada vez más aceptación en la vanguardia de los pavimentos, las carpetas asfálticas con polímeros, ya que se ha generalizado su uso en las autopistas con aforos vehiculares muy altos y el comportamiento de las carpetas han mejorado satisfactoriamente, dejando así una experiencia de éxito.

Se observa también, que los métodos empíricos de diseño para pavimentos flexibles, requieren de revisión y actualización, involucrando condiciones reales y actuales del transporte y una mayor investigación en la caracterización de materiales que componen los

pavimentos, pues se estima que, en el estado particular de México, los parámetros de diseño originales, han sido rebasados por las condiciones del transporte carretero y aéreo, en cuanto a volúmenes, pesos y composición del tránsito actuales y futuras. Adicionalmente, se estima que no basta considerar para diseño de vehículos vacíos y cargados, sino que deben tomarse en cuenta los vehículos vacíos, los parcialmente cargados, con sus respectivos porcentajes de carga, los cargados conforme al reglamento y los sobrecargados con sus porcentajes de exceso. Esto es ahora posible en México gracias al Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte que realiza la SCT.

Y finalmente, quiero expresar que en toda construcción de un pavimento, intervienen factores que involucran desde la clasificación, las características físicas y el comportamiento y los tratamientos de los materiales utilizados en las diferentes capas que lo constituyen, el proyecto del diseño tipo, pero primordialmente ejecutar con una metodología, una técnica y una experiencia adquirida en Campo a través del tiempo, los procesos constructivos del pavimento.

**REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS
Y
DOCUMENTALES**

1. ALFONSO RICO RODRIGUEZ / HERMILO DEL CASTILLO

1976

LA INGENIERIA DE SUELOS. VOLUMEN 1

EN LAS VIAS TERRESTRES.

CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPISTAS.

EDITORIAL LIMUSA, S.A.

MEXICO.

2. ALFONSO RICO RODRIGUEZ Y HERMILO DEL CASTILLO

1977

LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES. VOLUMEN 2

CARRETERAS, FERROCARRILES Y AEROPISTAS.

EDITORIAL LIMUSA, S.A.

MEXICO.

3. ASOCIACION MEXICANA DEL ASFALTO, A.C.

2005

PAVIMENTAR ES UN ARTE

REVISTA TECNICA ASFÁLTICA.

MEXICO.

4. CONSTRUCCIONES IRAZU, S.A. DE C.V.

1991.

ESTUDIO DE CAMPO DEL CAMINO ELOXOCHITLAN-JUAREZ HIDALGO.

TULANCINGO, HIDALGO.

MEXICO.

5. DAVID A. DAY.

1978

MAQUINARIA PARA CONSTRUCCION.

EDITORIAL LIMUSA, S.A.

MEXICO.

6. ING. DAVID ZAMORA O.

1976

APUNTES AEROPUERTOS.

MEXICO

7. EULALIO JUÁREZ BADILLO / ALFONSO RICO RODRIGUEZ

1976

MECÁNICA DE SUELOS. TOMO III

FLUJO DE AGUA EN SUELOS.

EDITORIAL LIMUSA, S.A.

MEXICO.

8. EMIC, S.A. DE C.V.

1985

***ENSAYE DE MATERIALES PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION,
S.A. DE C.V.***

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA
PAVIMENTOS.

MEXICO, D.F.

9. F. LÓPEZ-PEDRAZA Y MUNERA.

1970

AEROPUERTOS

PARANINFO

MADRID.

10. GRUPO BELTRÁN.

1995

MANUAL DE CONSTRUCCION PARA ESTABILIZACION CON CAL.

PUBLICACION DE LA NATIONAL LIME ASSOCIATION.

MEXICO.

11. GRUPO BELTRÁN.

1995

ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL PARA PAVIMENTOS.

MIEMBRO DE LA ASOCIACION NACIONAL DE FABRICANTES DE CAL,
A.C.

PUBLICACION GRUPO BERTRÁN.

MEXICO.

12. INTERNATIONAL SLURRY SEAL ASSOCIATION

2001

MORTERO ASFÁLTICO (SLURRY SEAL).

MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS.

ISSA

WASHINGTON, D.C.

13. INTERNATIONAL SLURRY SEAL ASSOCIATION

2003

EMULSIONES ASFÁLTICAS.

GRUPO INDUSTRIAL ALCE, S.A. DE C.V.

TOLUCA, ESTADO DE MEXICO.

MEXICO.

14. JUAREZ BADILLO / RICO RODRIGUEZ

1975

MECÁNICA DE SUELOS. TOMO I.

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DE SUELOS.

TERCERA EDICION.

EDITORIAL LIMUSA, S.A.

MEXICO.

15. KARL TERZAGHI / RALPH B. PECK

1983

MECÁNICA DE SUELOS.

EN LA INGENIERIA PRÁCTICA.

SEGUNDA EDICION.

EDITORIAL "EL ATENEO", S.A.

MADRID, ESPAÑA.

16. KOCH MATERIALS COMPANY.

2003

KOCH PAVEMENT SOLUTIONS

PUBLICACION: KOCH INDUSTRIES INTERNACIONAL, S.A. DE C.V.

MEXICO, D.F.

17. MATERIAL SALES INTERNATIONAL

2000

PRODUCTOS PARA LA SEGURIDAD DEL TRÁFICO.

MSI MATERIAL SALES INST.

TEMPE, ARIZONA 85282 USA

18. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

1983

NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES.

PARTE 3.01. CARRETERAS Y AEROPISTAS.

TITULO 3.01.03. PAVIMENTOS.

MEXICO.

19. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

1984

NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES.

PARTE 3.01. CARRETERAS Y AEROPISTAS.

TITULO 3.01.01. TERRACERIAS.

MEXICO.

20. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

1984

NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES.

PARTE 3.01. CARRETERAS Y AEROPISTAS.

TITULO 3.02 ESTRUCTURAS Y OBRAS DE DRENAJE.

21. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

1992

UNIDAD GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS.

UNIDAD DE LABORATORIOS DEL CENTRO SCT HIDALGO.

MEXICO.

22. VIAHSA

1991

VIAS ASFALTICAS DE HIDALGO, S.A. DE C.V.

EMPRESA CONSTRUCTORA DE PAVIMENTOS.

MEXICO.

G L O S A R I O

ACAMELLONAMIENTO.- Operación mecánica a través de motoconformadora o similar, consistente en formar lomo longitudinal de materiales utilizados en las subrasantes, sub-bases y bases con contenido de humedad óptimo, previo a su tendido.

AC-20.- Material bituminoso producto de la refinación del petróleo, que se utiliza como materia prima para la elaboración de emulsiones y mezclas asfálticas.

ANDESÍTICA.- Clasificación de roca de origen volcánico.

APARATO TIPO DYNAFLECT.- Aparato con capacidad para calcular la deformidad de la composición de una de las capas del pavimento.

BASE HIDRÁULICA.- La capa superior de la estructura de un pavimento, inmediatamente debajo de la superficie de rodamiento.

BITUMINOSA (CONCRETO ASFÁLTICO).- De origen asfáltico; que tiene betún: suelo bituminoso.

BUFAMIENTOS.- Ahuecamientos que se producen al realizar una operación mecánica en las capas de la estructura de un pavimento.

CALIZA O MOLONQUE.- Es el material que resulta del tratamiento de la cal muerta.

CAOLINÍTICAS.- Rocas con contenido de cal.

CINERÍTICOS.- Que proviene de la ceniza.

DEFORMÓMETRO TIPO BENKELMAN.- Aparato que se usa para calcular deformaciones en las terracerías al aplicar un tratamiento mecánico.

EMULSIÓN CATIÓNICA TIPO RR-2K.- Es el producto asfáltico, derivado del petróleo, para la utilización de riegos asfálticos.

ESTABILÓMETRO.- Aparato que se utiliza para calcular la estabilización de los materiales utilizados en las capas estructurales de un pavimento.

GRAVA CEMENTADA. - Es la composición de dos materiales pétreos para las capas de sub-base y base, compuesta por una grava y un cementante con una dosificación previamente diseñada.

LIMO AEROSOL. - Tipo de suelo que contiene barro o cieno y arena.

MICROESFERA. - Producto vidrioso pulverizado que se coloca inmediatamente después de la pintura para señalizaciones sobre los pavimentos, cuya función es producir un reflejo nocturno.

OPEN GRADE. - Material pétreo de una granulometría específica, colocada como microcarpetas sobre carpetas asfálticas, cuya función es enriquecer el drenado del agua.

PÉTREOS. - Material con tratamiento a base de gravas con dureza y granulometría específica, que se utiliza en las diferentes capas estructurales de un pavimento.

PIEDRAPLEN. - Una capa a base de piedra con granulometría específica y con espesores mayores, que permiten el flujo del agua, sin afectar la estructura.

PIROCLÁSTICA.- Material basáltico producto de origen volcánico inerte.

PROCTOR.- Prueba de compactación en las capas de la estructura del pavimento.

PRUEBA MARSHALL.- Prueba elaborada en las mezclas asfálticas para calcular calidad proyectada.

REOLOGÍA.- Estudio de la deformación y flujo de la materia.

RIEGO DE IMPREGNACIÓN.- Riego asfáltico utilizado sobre la base hidráulica, cuya función es penetrar y evitar filtraciones del agua.

RIEGO DE LIGA.- Es el riego que se realiza entre el riego de impregnación y la carpeta asfáltica, cuya función es la adhesión.

SLURRY SEAL.- Mortero asfáltico.

SUB-BASE.- La capa inmediata inferior de la base hidráulica.

SUBRASANTE- *La capa inmediata inferior de la sub-base.*

TAXCO.- *Calles y vialidades alrededor y paralelas a las pistas.*

RELACION DE SIGLAS

ACN: *Número de Clasificación de Aeronaves.*

ASSHTO.- *Association of State Highway and Transportation Officials (Washington, D.C.)*

CMIC : *Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.*

OACI: *Organización de Aviación Civil Internacional.*

PCN: *Número de Clasificación de Pavimentos.*

PEMEX: *Petróleos Mexicanos.*

S.A.P.: *Sistema de Agua Potable.*

S.C.T.: *Secretaría de Comunicaciones y Transportes.*

SHRP: *Strategic Highway Research Program: Programa Americano de Investigación Sobre Carreteras.*

V.R.S.: *Valor Relativo de Soporte.*

