



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA AMPLIACIÓN
DE DOS A CUATRO CARRILES DE LA AVENIDA MORELOS
ORIENTE EN CD. HIDALGO, MICH.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

AURELIO ANDRADE ALCALÁ

MORELIA, MICHOACÁN, SEPTIEMBRE, 2006



ÍNDICE

ANTECEDENTES.....	3
ANTECEDENTES DE LA AVENIDA MORELOS.....	5
INTRODUCCIÓN	11
CAPITULO 1. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS Y ESTRUCTURACIÓN.....	15
CAPITULO 2. ESTUDIO DE INGENIERÍA DE TRANSITO.....	34
CAPITULO 3. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN CAMPO.....	54
CAPITULO 4. PRUEBAS DE LABORATORIO.....	93
CAPITULO 5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	129
CAPITULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	142
CAPITULO 7. NORMAS Y ESPECIFICACIONES	146
CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	161
CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA.....	169



ANTECEDENTES.

EN LA CONFORMACIÓN DE NUESTRA INFRAESTRUCTURA CARRETERA HA INFLUIDO LA GRAN DIVERSIDAD DE CLIMAS, TIPOS DE SUELO, ZONAS AMBIENTALES Y ETNIAS, DEBIDO A LA EXTENSIÓN TERRITORIAL DE MÉXICO; SU HETEROGENEIDAD NOS HA MARCADO EL CAMINO DEL DESARROLLO Y CRECIMIENTO.

EN MÉXICO LAS CONDICIONES DE SERVICIO DE LOS APROXIMADAMENTE 95,000 KM. DE CAMINOS PAVIMENTADOS NO SON LAS ÓPTIMAS, DE HECHO LA MAYORÍA DE ELLOS ESTÁ CATALOGADO POR LAS PROPIAS AUTORIDADES COMO PAVIMENTOS EN REGULARES Y MALAS CONDICIONES. UNA RAZÓN IMPORTANTE DEL BAJO NIVEL DE SERVICIO ES DEBIDO A QUE ESTAS CARRETERAS SE PROYECTARON, DISEÑARON Y CONSTRUYERON, EN SU MAYORÍA, ENTRE LOS AÑOS DE 1925 A 1970. LA RED ESTUVO PROYECTADA PARA SOPORTAR CARGAS VEHICULARES QUE VARÍAN ENTRE LAS 6 Y 8 TONELADAS, PERO EN LA ACTUALIDAD LLEGA A TENER CAMIONES CARGADOS QUE EN ALGUNOS CASOS ALCANZAN A PESAR HASTA 60 TONELADAS; ESTO SIN CONSIDERAR EL PESO DE LOS VEHÍCULOS. NO SE CONTÓ TAMPOCO CON EL CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO DE CAMIONES PESADOS, SÓLO SE CONSIDERO EL TRÁFICO DIARIO QUE TENÍA ENTONCES, ENTRE LOS 500 Y 1,000 VEHÍCULOS; SIN EMBARGO, EN LA ACTUALIDAD SE TIENEN VALORES SIGNIFICATIVAMENTE MAYORES, DE HASTA 15,000 VEHÍCULOS.

HASTA 1993 LA ESPECIFICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO EN MÉXICO FUE RELATIVAMENTE ESCASO. QUIZÁ ESTO SE DEBIÓ, PRINCIPALMENTE, A QUE NUESTRO PAÍS ES UN IMPORTANTE PRODUCTOR DE PETRÓLEO Y POR CONSIGUIENTE DE ASFALTO. ANTERIORMENTE EXISTÍA UN SUBSIDIO IMPORTANTE EN EL PRECIO DEL ASFALTO, LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN NUESTRO PAÍS RESULTABAN EN COSTO MUY INFERIORES A LOS DEL CONCRETO HIDRÁULICO.



LOS PAVIMENTOS DE ASFALTO PARECÍAN SER UNA ALTERNATIVA SUFICIENTE; ADEMÁS DE LA DESINFORMACIÓN Y DESCONOCIMIENTO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS CON PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO. ANTE EL DETERIORO DE LAS CARRETERAS EN LA RED Y CONSIDERANDO LOS PUNTOS ANTERIORMENTE PLANTEADOS, LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT) SE DIO A LA TAREA DE BUSCAR SOLUCIONES ALTERNATIVAS QUE PUDIERAN SOPORTAR ADECUADAMENTE LAS CARGAS Y EL VOLUMEN DE TRÁFICO PESADO, BUSCANDO QUE LOS NIVELES DE SERVICIO PERMANECIERAN ALTOS DURANTE PERÍODOS MAYORES. LA SCT ORIENTÓ A UNA SOLUCIÓN CON PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO, QUE ANTE TALES EXIGENCIAS REPRESENTABAN UN COSTO RAZONABLE, CON UNA CAPACIDAD ESTRUCTURAL ADECUADA, TANTO PARA EL VOLUMEN DE TRÁNSITO COMO PARA LA INTENSIDAD DEL MISMO, Y UN PERÍODO DE VIDA COSTEABLE DE ACUERDO A LA MAGNITUD DE LA INVERSIÓN.

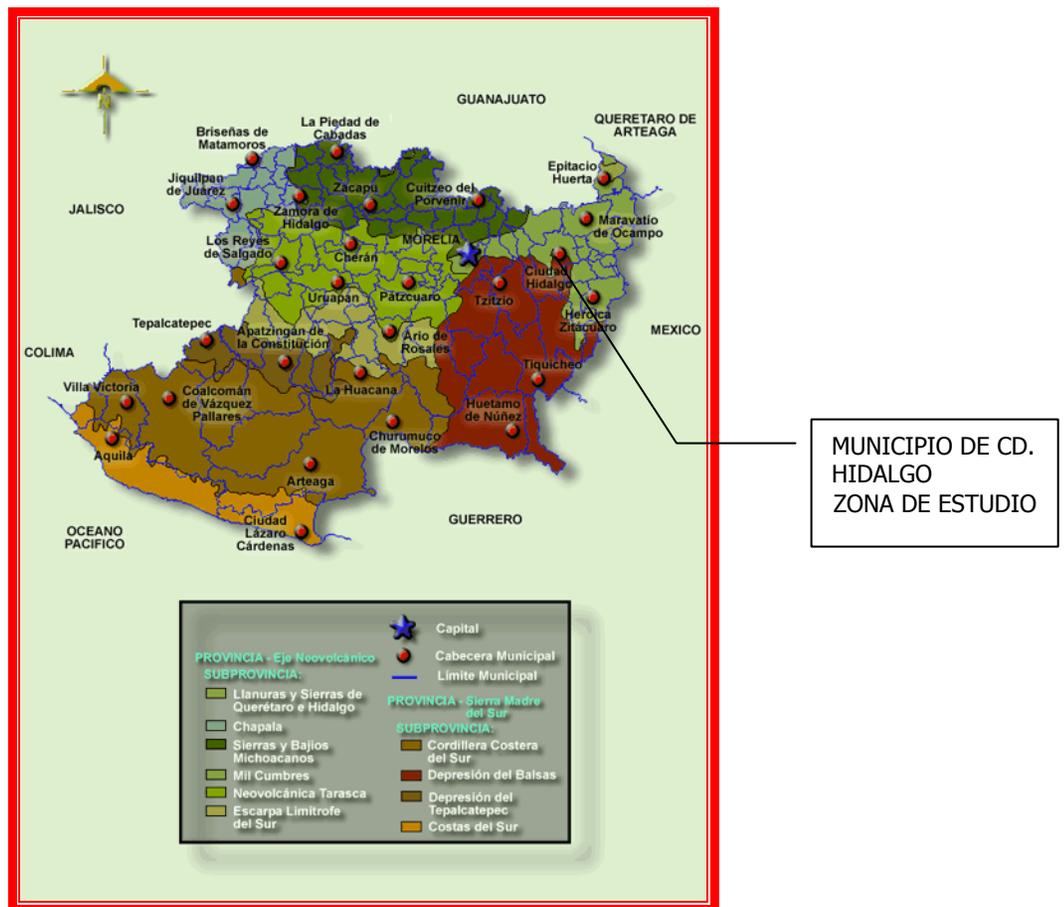


ANTECEDENTES DE LA AVENIDA MORELOS ORIENTE

ESTE CAMINO TIENE UNA LONGITUD DE 2.160 KILOMETROS TENIENDO SU ORIGEN EN EL KILÓMETRO 0+000 Y TERMINANDO EN EL KILÓMETRO 2+160.

- LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL MUNICIPIO

EN LA PRESENTE FIGURA SE MUESTRA LA UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL MUNICIPIO DE CD.



▪ FISIOGRAFIA DEL MUNICIPIO.

LOS LÍMITES DEL ESTADO DE MICHOACÁN ENCIERRAN ÁREAS QUE CORRESPONDEN A DOS PROVINCIAS FISIOGRÁFICAS DEL PAÍS:

- SIERRA MADRE DEL SUR

- EJE NEOVOLCÁNICO

PROVINCIA SIERRA MADRE DEL SUR

LIMITA AL NORTE CON EL EJE NEOVOLCÁNICO, AL ESTE CON LA LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR, LAS SIERRAS DE CHIAPAS, Y GUATEMALA, Y LA CORDILLERA CENTROAMERICANA; Y AL SUR Y OESTE, LLEGA AL OCÉANO PACÍFICO. ESTA GRAN REGIÓN, CONSIDERADA LA MÁS COMPLEJA Y MENOS CONOCIDA DEL PAÍS, DEBE MUCHOS DE SUS RASGOS PARTICULARES A LA ESTRECHA RELACIÓN QUE GUARDA CON LA PLACA DE COCOS, UNA DE LAS PLACAS MÓVILES QUE INTEGRAN LA LITÓSFERA O CORTEZA TERRESTRE EXTERIOR. SE DESPLAZA DE 2 A 3 CM AL AÑO. A ELLO SE DEBE LA FUERTE SISMICIDAD QUE SE MANIFIESTA EN ESTA PROVINCIA, EN PARTICULAR SOBRE LAS COSTAS GUERRERENSES Y OAXAQUEÑAS.

LITOLÓGICAMENTE, ES UNA REGIÓN DE GRAN COMPLEJIDAD EN LA QUE LAS ROCAS INSTRUSIVAS CRISTALINAS, ESPECIALMENTE LOS GRANITOS Y LAS METAMÓRFICAS, TIENEN UNA GRAN IMPORTANCIA.

LA SIERRA MADRE DEL SUR HA SIDO CLASIFICADA COMO UNA DE LAS REGIONES FLORÍSTICAS MÁS RICAS DEL MUNDO, EN LA CUAL SE MANIFIESTA UN ALTO GRADO DE ENDEMISMO.

EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, ESTA PROVINCIA COMPRENDE PORCIONES DE CUATRO SUBPROVINCIAS Y LA TOTALIDAD DE UNA DISCONTINUIDAD.



SUBPROVINCIA DE MIL CUMBRES

ES RELATIVAMENTE DE POCA EXTENSIÓN. ES UNA REGIÓN ACCIDENTADA Y COMPLICADA POR LA DIVERSIDAD DE SUS GEOFORMAS, COMO SON: SIERRAS VOLCÁNICAS COMPLEJAS, MESETAS LÁVICAS ESCALONADAS, LOMERÍOS BASÁLTICOS Y EL VALLE POR EL CUAL EL RÍO LERMA SE DIRIGE AL NORTE, HACIA LA PRESA SOLÍS.

ESTA SUBPROVINCIA PRESENTA AGRESTES PAISAJES FORMADOS POR BOSQUES DE CONÍFERAS EN UNA COMPLEJA TOPOGRAFÍA. CLIMA Y GEOLOGÍA CONDICIONAN LA FORMACIÓN DE SUELOS CUYO ORIGEN VOLCÁNICO ES DOMINANTE PARA LOS ANDOSOLES Y RESIDUAL PARA LITOSOL, REGOSOL Y SUELOS ROJOS ARCILLOSOS.

SUBPROVINCIA DE LOS LAGOS Y VOLCANES DE ANÁHUAC.

ABARCA UNA PORCIÓN REDUCIDA EN EL ORIENTE DEL ESTADO, LA CUAL PERTENECE AL MUNICIPIO DE ZITÁCUARO. ESTÁ INTEGRADA POR GRANDES SIERRAS VOLCÁNICAS Y APARATOS VOLCÁNICOS INDIVIDUALES ALTERNADOS CON AMPLIAS LLANURAS Y VASOS LACUSTRES. SIN EMBARGO, EN MICHOACÁN SÓLO SE ENCUENTRA UN SISTEMA DE TOPOFORMAS POCO REPRESENTATIVO DE DICHA REGIÓN, EL DE LOMERÍO DE COLINAS REDONDEADAS.

LOS SUELOS EN ESTA SUBPROVINCIA SON DE ORIGEN RESIDUAL. LOS SUELOS QUE SE PRESENTAN SON ANDOSOLES Y ACRISOLES.

POR LAS CARACTERÍSTICAS QUE PRESENTA LA ZONA SE ESTIMA QUE LA FORMACIÓN DE LOS SUELOS QUE FORMAN LA ESTRATIGRAFIA DEL TERRENO NATURAL, ESTA SE ENCUENTRA FORMADA POR ARCILLAS INORGÁNICAS DE ALTA PLASTICIDAD, LAS CUALES PRESENTAN CAMBIOS VOLUMÉTRICOS IMPORTANTES AL MODIFICAR SUS CONTENIDOS DE HUMEDAD.



LO ANTES SEÑALADO SE PUEDE APRECIAR EN LA FOTOGRAFIA SIGUIENTE:



ARCILLA
INORGANICA
DE ALTA
PLASTICIDAD

FOTO. VISTA DESDE UNA EXCAVACION AL TERRENO NATURAL

ARCILLA
INORGANICA
DE ALTA
PLASTICIDAD



FOTO. VISTA DESDE UN CORTE O EXCAVACION AL TERRENO NATURAL, REALIZADOS PARA ALOJAR LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EN LA AMPLIACION DE LA VIALIDAD.



LAS CONDICIONES QUE PRESENTA EL CAMINO ACTUALMENTE ES LA SIGUIENTE:

SE TRATA DE UNA AMPLIACION A LA AVENIDA MORELOS ORIENTE, LA CUAL ES LA AVENIDA PRINCIPAL DE LA LOCALIDAD DE CD. HIDALGO.

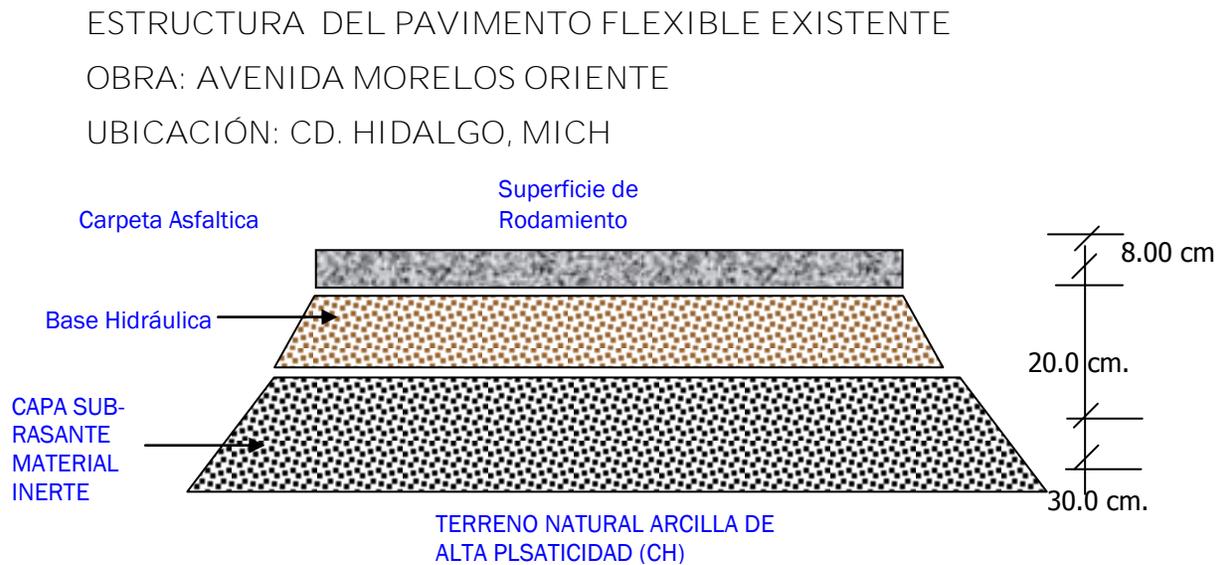
ASI QUE POR TRATARSE DE UNA AMPLIACION SE TIENE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EXISTENTE LA CUAL ES LA SIGUIENTE:

- SOBRE LA VIALIDAD EXISTENTE SE TIENE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO QUE CONSTA DE UN MEJORAMIENTO DE MATERIAL INERTE COLOR ROJIZO DE 30.0 CM. DE ESPESOR APROXIMADAMENTE EN CONDICIONES FAVORABLES DE ACOMODO DE MATERIAL, POR LO QUE REPRESENTA UN BUEN FUNCIONAMIENTO PARA EL CAMINO.
- SOBRE ESTE MATERIAL SE TIENE UNA CAPA DE BASE DE 20.0 CM. DE ESPESOR DE CARACTERISTICAS ACEPTABLES DE CALIDAD DE MATERIAL. PARA GARANTIZAR LA VIDA UTIL DE ESTA CAPA SERA NECESARIO VERIFICAR EL GRADO DE COMPACTACION DE LA MISMA MEDIANTE SONDEOS O CALAS EN LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.



EL OBJETIVO PRINCIPAL DE ESTE ESTUDIO ES LA REALIZACIÓN DEL DISEÑO ADECUADO PARA LA FORMACIÓN DE LA ESTRUCTRA DEL PAVIMENTO QUE SERVIRA DE SOPORTE PARA LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO DE LA VIALIDAD NUEVA.

EN LA SIGUIENTE FIGURA SE MUESTRA LA SECCION TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO EXISTENTE:



INTRODUCCIÓN

DESDE LA ANTIGÜEDAD, LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS HA SIDO UNO DE LOS PRIMEROS SIGNOS DE CIVILIZACIÓN AVANZADA. CUANDO LAS CIUDADES DE LAS PRIMERAS CIVILIZACIONES EMPEZARON A AUMENTAR DE TAMAÑO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN, LA COMUNICACIÓN CON OTRAS REGIONES SE TORNÓ NECESARIA PARA HACER LLEGAR SUMINISTROS ALIMENTICIOS O TRANSPORTARLOS A OTROS CONSUMIDORES. ENTRE LOS PRIMEROS CONSTRUCTORES DE CARRETERAS SE ENCUENTRAN LOS MESOPOTÁMICOS, HACIA EL AÑO 3500 A.C.; LOS CHINOS, QUE CONSTRUYERON LA RUTA DE LA SEDA (LA MÁS LARGA DEL MUNDO) DURANTE 2,000 AÑOS, Y DESARROLLARON UN SISTEMA DE CARRETERAS EN TORNO AL SIGLO XI A.C., Y LOS INCAS DE SUDAMÉRICA, QUE CONSTRUYERON UNA AVANZADA RED DE CAMINOS QUE NO PUEDEN SER CONSIDERADOS ESTRICTAMENTE CARRETERAS, YA QUE LOS INCAS NO CONOCÍAN LA RUEDA. ESTA RED SE DISTRIBUÍA POR TODOS LOS ANDES E INCLUÍA GALERÍAS CORTADAS EN ROCAS SÓLIDAS. EN EL SIGLO I, EL GEÓGRAFO GRIEGO ESTRABÓN REGISTRÓ UN SISTEMA DE CARRETERAS QUE PARTÍAN DE LA ANTIGUA BABILONIA; LOS ESCRITOS DE HERÓDOTO, HISTORIADOR GRIEGO DEL SIGLO V A.C., MENCIONAN LAS VÍAS CONSTRUIDAS EN EGIPTO PARA TRANSPORTAR LOS MATERIALES CON LOS QUE CONSTRUYERON LAS PIRÁMIDES Y OTRAS ESTRUCTURAS MONUMENTALES LEVANTADAS POR LOS FARAONES.

LAS VARIABLES MÁS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA EN LA INGENIERÍA DE CAMINOS MODERNA SON LA INCLINACIÓN DE LA TIERRA SOBRE LA QUE SE CONSTRUYE LA CARRETERA, LA CAPACIDAD DEL PAVIMENTO PARA SOPORTAR LA CARGA ESPERADA, LA PREDICCIÓN DE LA INTENSIDAD DE USO DE LA CARRETERA, LA NATURALEZA DEL SUELO QUE LA SOSTIENE Y LA COMPOSICIÓN Y ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTACIÓN. EL PAVIMENTO PUEDE SER RÍGIDO (PERMITIENDO POCAS LATITUDES DE FLEXIÓN) O FLEXIBLE. EL PAVIMENTO FLEXIBLE UTILIZA UNA MEZCLA DE AGREGADO GRUESO O FINO (PIEDRA MACHACADA, GRAVA Y ARENA) CON MATERIAL BITUMINOSO OBTENIDO DEL ASFALTO O



PETRÓLEO, Y DE LOS PRODUCTOS DE LA HULLA. ESTA MEZCLA ES COMPACTA, PERO LO BASTANTE PLÁSTICA PARA ABSORBER GRANDES GOLPES Y SOPORTAR UN ELEVADO VOLUMEN DE TRÁFICO PESADO. LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS SE CONSTRUYEN CON UNA MEZCLA DE CEMENTO PÓRTLAND Y AGREGADO GRUESO Y FINO. EL ESPESOR DEL PAVIMENTO PUEDE VARIAR DE 15 A 45 CM, DEPENDIENDO DEL VOLUMEN DE TRÁFICO QUE DEBA SOPORTAR, Y A VECES SE UTILIZA UN REFUERZO DE ACERO PARA EVITAR LA FORMACIÓN DE GRIETAS. BAJO EL PAVIMENTO SE EMPLEA ARENA O GRAVA FINA COMO BASE PARA REFORZARLO.

EL CAMINO ES SIEMPRE UNA RUTA DIRECTA, SIN DESVÍOS QUE PROVOQUE EL EXTRAVÍO O LA PÉRDIDA DE TIEMPO. ES LA MANERA MÁS RÁPIDA Y EFECTIVA DE UNIR DOS PUNTOS POR LA VÍA TERRESTRE. PARA CUALQUIER PAÍS UNA DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE DESARROLLO ES SU INFRAESTRUCTURA CARRETERA, ESTO ES DEBIDO A QUE SE CONECTAN LOS GRANDES CENTROS DE POBLACIÓN Y LAS ZONAS INDUSTRIALES, A SU VEZ PROPORCIONAN AL CAMPO UNA VÍA COMERCIAL PARA LOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS Y GANADEROS. DEBIDO A LA IMPORTANCIA QUE TIENEN LAS CARRETERAS PARA CADA PAÍS ES IMPORTANTE CONSTRUIRLAS CON LA CALIDAD DEBIDA PARA QUE ÉSTAS TENGAN MÁS VIDA ÚTIL Y ASÍ REDUCIR LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO.

LAS CRECIENTES NECESIDADES DE DESARROLLO, LA BÚSQUEDA DE SOLUCIONES PERDURABLES Y LA DEMANDA DE CONTAR CON MÁS Y MEJORES CAMINOS HAN CONTRIBUIDO PARA LOGRAR QUE EN LA MODERNIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LA RED CARRETERA DE MÉXICO SE ESTÉ ESPECIFICANDO EL USO DE PAVIMENTOS DEL CONCRETO HIDRÁULICO BAJO ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE CALIDAD.

1. HISTORIA DE LAS VÍAS TERRESTRES.

POR NECESIDAD DE ALIMENTACIÓN, LAS TRIBUS Y NÓMADAS SE TRASLADABAN EN CAMINOS DE TIPO PEATONAL (VEREDAS); POSTERIORMENTE CUANDO LOS GRUPOS SE VOLVIERON SEDENTARIOS, ESTOS CAMINOS TUVIERON



FINALIDADES DE TIPO RELIGIOSO, COMERCIAL Y DE CONQUISTA. EN AMÉRICA Y EN PARTICULAR EN MÉXICO, HUBO ESTE TIPO DE CAMINOS DURANTE EL FLORECIMIENTO DE LAS CIVILIZACIONES MAYA Y AZTECA.

A PARTIR DE LA INVENCION DE LA RUEDA APARECIÓ LA CARRETA JALADA POR PERSONAS O POR BESTIAS; A ESTO SE DEBIÓ LA NECESIDAD DE CONSTRUIR CAMINOS LOS CUALES PERMITÍAN TRANSPORTARSE CON UNA MEJOR COMODIDAD Y RAPIDEZ.

DEBIDO A QUE CUANDO LAS VÍAS SE CONSTRUÍAN EN SUELOS BLANDOS O LODAZALES LAS RUEDAS SE INCRUSTABAN EN EL TERRENO, SE RESBALABAN Y NO PODÍAN AVANZAR CON FACILIDAD; COLOCABAN PIEDRAS SOBRE EL TRAYECTO DEL CAMINO. LOS CAMINOS PARA CARRETERA SE REVESTÍAN DE PIEDRA MACHACADA. LA COLOCACIÓN DE PIEDRA Y REVESTIMIENTO EN LOS CAMINOS TENÍAN LA FINALIDAD DE EVITAR LA RUPTURA ESTRUCTURAL TRANSMITIENDO ASÍ UN ESFUERZO DE MENOR INTENSIDAD AL TERRENO NATURAL, DEBIDO AL INCREMENTO DEL ÁREA DE INFLUENCIA AL AUMENTAR LA PROFUNDIDAD. CADA VEZ AVÍA LA NECESIDAD DE MEJORAR LOS CAMINOS DE ACUERDO AL DESARROLLO DE LAS CARRETAS Y RUEDAS DE MATERIALES DE MEJOR CALIDAD, POR ESTA RAZÓN SE IMPLEMENTABAN TÉCNICAS PARA PODER CONSTRUIR CAMINOS QUE LES PERMITIERA TRASLADARSE RAPIDEZ, SEGURIDAD Y COMODIDAD.

2. LAS VÍAS TERRESTRES EN MÉXICO.

A PRINCIPIO DEL SIGLO XIX SE EMPEZÓ A INTRODUCIR EN MÉXICO LOS PRIMEROS AUTOMÓVILES QUE UTILIZARON LOS CAMINOS YA EXISTENTES PARA LAS CARRETAS. A PARTIR DE 1915 SE EMPEZÓ A CONSTRUIR CAMINOS CON TÉCNICAS MAS AVANZADAS. LOS PRIMEROS CAMINOS DE ESTE TIPO IBAN DE CIUDAD DE MÉXICO A VERACRUZ, LAREDO Y GUADALAJARA. ESTOS FUERON PROYECTADOS Y CONSTRUIDOS POR FIRMAS DE ESTADOS UNIDOS; SIN EMBARGO DESDE 1940 LOS INGENIEROS MEXICANOS SE HAN DADO A LA TAREA DE



CONSTRUIR UNA RED DE CAMINOS PAVIMENTADOS DE MAS DE 85,000 KM EN PRINCIPALES Y 120,000 KM DE CAMINOS SECUNDARIOS; TODOS CON SUPERFICIE DE RODAMIENTO REVESTIDA.

3. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO.

SE ENTIENDE POR PAVIMENTO AL CONJUNTO DE CAPAS COMPRENDIDAS ENTRE LA SUBRASANTE Y LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO A NIVEL DE RASANTE.

POR SUBRASANTE SE CONOCE COMO LA SUPERFICIE DE UNA TERRACERÍA TERMINADA, SIENDO ESTA ULTIMA EL CONJUNTO DE TERRAPLENES Y CORTES DE UNA OBRA VIAL.

LA CALIDAD DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO ES DESCENDIENTE HACIA ABAJO. CUANDO EL MATERIAL DE TERRACERÍA ES DE MUY MALA CALIDAD PUEDE HACERSE NECESARIO EL EMPLEO DE UNA VERDADERA CAPA SUBRASANTE DE MATERIAL DE MEJOR CALIDAD QUE SIRVA DE TRANSICIÓN ENTRE LA TERCERÍA Y EL PAVIMENTO. CUANDO EL MATERIAL DE TERRACERÍA SEA DE MEJOR CALIDAD, LA CAPA SUBRASANTE

ESTA FORMADA POR EL PROPIO MATERIAL DE TERRACERÍA CON TRATAMIENTO CONSTRUCTIVO ALGO MEJOR, SOBRE TODO EN COMPACTACIÓN.



CAPITULO 1.

CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS Y ESTRUCTURACIÓN.

EXISTEN DOS TIPOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS: RÍGIDO Y FLEXIBLE.

1) PAVIMENTO RÍGIDO.- LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS ESTÁN FORMADOS POR UNA LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO, CON RECUBRIMIENTO BITUMINOSO O SIN ÉL, APOYADA SOBRE UNA SUBRASANTE O SOBRE UNA CAPA DE MATERIAL SELECCIONADA LLAMADA SUB- BASE (GRAVA – ARENA). LOS CONCRETOS USADOS SON DE RESISTENCIA RELATIVAMENTE GRANDE, GENERALMENTE COMPRENDIDA ENTRE 210 KG /CM², Y 350 KG/CM².

EN GENERAL SE USA CONCRETO SIMPLE Y EN OCASIONES REFORZADO.

2) PAVIMENTO FLEXIBLE.-LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES ESTÁN FORMADOS POR UNA CAPA O CARPETA BITUMINOSA APOYADA GENERALMENTE SOBRE DOS CAPAS NO RÍGIDAS, LA BASE Y LA SUB- BASE.

EN LOS AEROPUERTOS ES COMÚN ENCONTRAR UNA COMBINACIÓN DE LOS DOS PAVIMENTOS ANTES MENCIONADOS. EN EL CENTRO DE LA PISTA SE TIENE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y EN LAS ORILLAS PAVIMENTO FLEXIBLE (UN 15%).

LOS PAVIMENTO SE UTILIZAN EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, AVENIDAS, CALLES, BODEGAS, AEROPUERTOS.

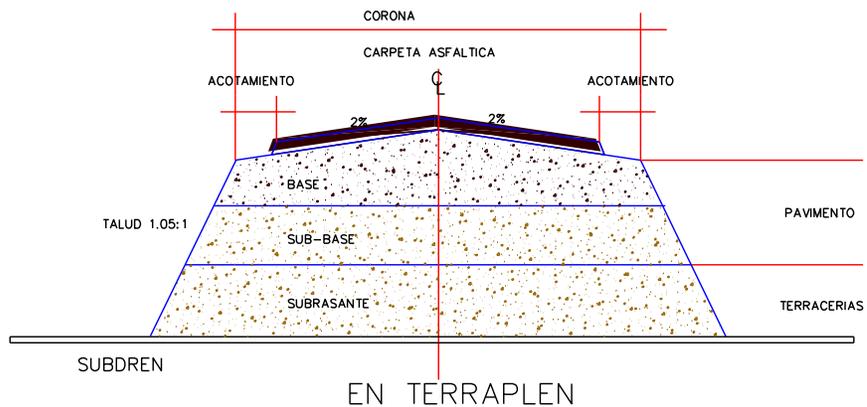
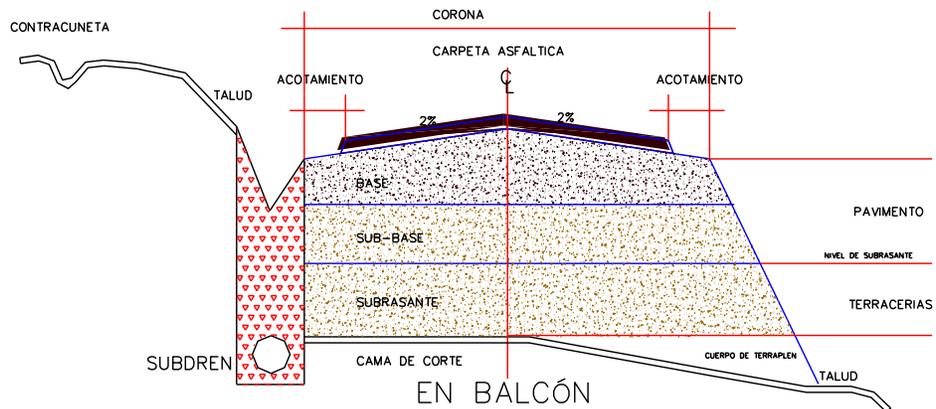
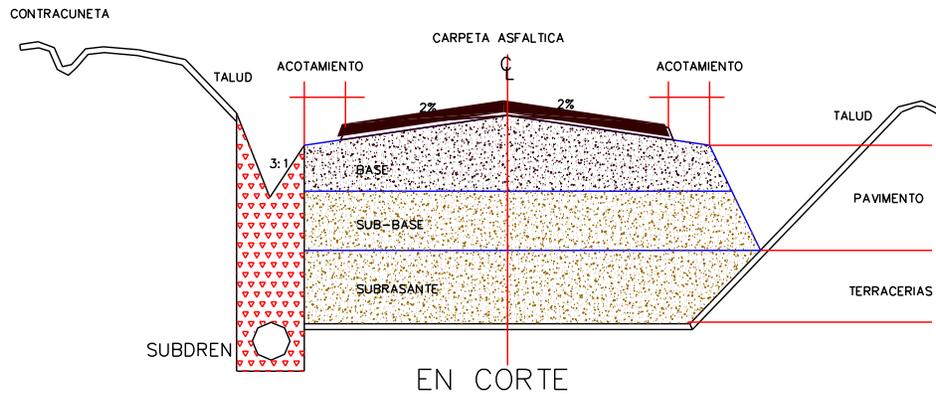
EN GENERAL CUALQUIER SUELO NATURAL ES APROVECHABLE PARA TERRACERÍAS, EXCEPTO LOS SUELOS ORGÁNICOS O SUELOS EXPANSIVOS QUE PRODUCIRÍAN DEFORMACIONES EXCESIVAS A LAS CAPAS SUBYACENTES.

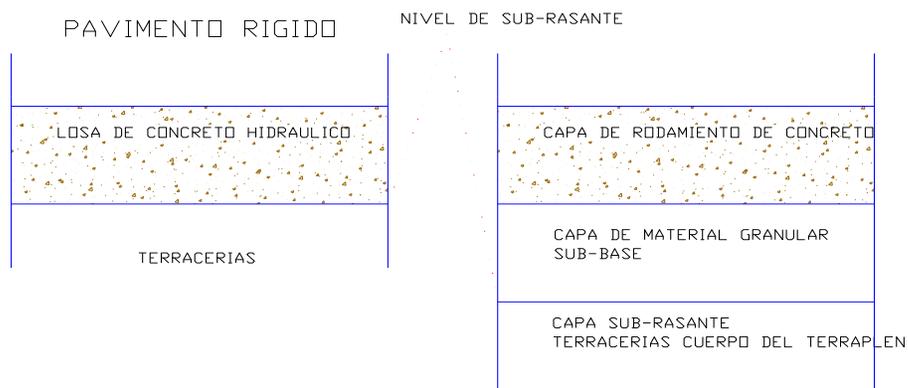
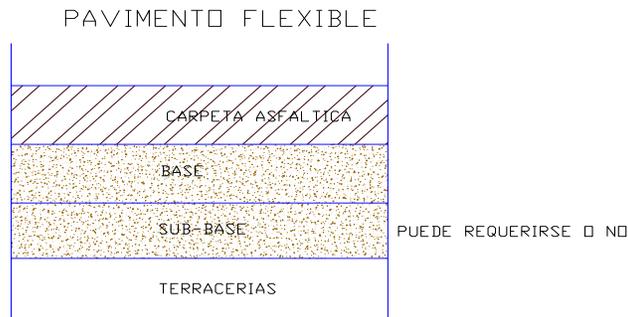
EN LA ACTUALIDAD EXISTE EL PAVIMENTO LLAMADO SEMIRIGIDO QUE ES, ESENCIALMENTE UN PAVIMENTO FLEXIBLE A CUYA BASE SE HA DADO UNA RIGIDEZ ALTA POR LA ADICIÓN DEL CEMENTO O ASFALTO.

LA MEJOR CALIDAD DE LAS CAPAS SUPERIORES DEL PAVIMENTO SE DEBE A LA MAYOR INTENSIDAD DE LOS ESFUERZOS EN LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.



SECCIONES TIPO DE PAVIMENTOS





PARA CUMPLIR SUS FUNCIONES UN PAVIMENTO DEBE SATISFACER DOS CONDICIONES BÁSICAS:

A) OFRECER UNA BUENA Y RESISTENTE SUPERFICIE DE RODAMIENTO, CON LA RUGOSIDAD NECESARIA PARA GARANTIZAR BUENA FRICCIÓN CON LA LLANTA DEL VEHÍCULO Y CON EL COLOR ADECUADO PARA EVITAR REFLEJOS Y DESLUMBRAMIENTOS.

B) DEBE TENER LA RESISTENCIA APROPIADA Y LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS CONVENIENTES PARA SOPORTAR LAS CARGAS IMPUESTAS CON EL TRANSITO Y CON DEFORMACIONES QUE NO SEAN PERMANENTES.



DEFINICIÓN DE OTROS TÉRMINOS.

A) TERRACERIAS: ESTÁN CONSTITUIDOS POR EL CONJUNTO DE CORTES Y TERRAPLENES QUE DAN FORMA A LA OBRA VIAL; INCLUYEN LAS TERRACERÍAS, LA DENOMINADA CAPA DE SUBRASANTE QUE ES UNA TRANSICIÓN ENTRE TERRACERÍAS Y PAVIMENTO. LAS TERRACERÍAS ESTÁN CONSTITUIDAS GENERALMENTE POR MATERIALES NO SELECCIONADOS Y CONSTITUYEN EN SI LA SUB-ESTRUCTURA DE LA CARRETERA.

B) DESPLANTE: SUPERFICIE COMPACTADA O SIN COMPACTAR EN UNO O VARIOS NIVELES, SOBRE LA CUAL SE ASIENTA UNA ESTRUCTURA O EL CAMINO MISMO.

C) SUB-DRENES: ZANJAS CON TUBERÍA PERFORADA COLOCADA EN LA PARTE INFERIOR Y RELLENAS CON UN MATERIAL CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES, DE TAL MANERA QUE SIRVA DE FILTRO; TIENE POR OBJETO COLECTAR Y DESALOJAR AGUA DEL SUELO O DE LA TERRACERÍA.

D) BOMBEO: PENDIENTE TRANSVERSAL DE LA SUPERFICIE DE LAS CAPAS QUE CONSTITUYEN LA OBRA VIAL Y QUE TIENE POR OBJETO FACILITAR EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DEL AGUA.

E) DRENAJE TRANSVERSAL: ESTÁ CONSTITUIDO POR LAS ALCANTARILLAS Y PUENTES QUE PERMITEN EL PASO DEL AGUA DE UNO U OTRO LADO DE LA CARRETERA, GENERALMENTE POR DEBAJO DE ESTA.

F) ALCANTARILLA: ES UNA OBRA DE DRENAJE TRANSVERSAL CON CLARO MENOR DE 6 MTS.

G) PUENTE: ES UNA OBRA QUE SIRVE PARA SALVAR TOPOGRAFÍA ACCIDENTADA, CON UN CLARO MAYOR DE 6 MTS.



H) CORONA: SUPERFICIE COMPRENDIDA ENTRE LAS ARISTAS SUPERIORES DE LOS TALUDES DE UN TERRAPLÉN O ENTRE LAS INFERIORES DE LAS CUNETAS DE UN CORTE.

I) RASANTE: SUPERFICIE DE RODAMIENTO DE UNA CARRETERA O AEROPISTA TERMINADA CONFORME A LOS NIVELES Y SECCIONES DE PROYECTO.

J) ACOTAMIENTO: FRANJA COMPRENDIDA ENTRE LA ORILLA DE LA CARPETA Y LA CORONA DE UN CAMINO.

K) RIEGO DE IMPREGNACIÓN: PRODUCTO ASFÁLTICO QUE SE APLICA SOBRE LA SUPERFICIE DE LA BASE, CON EL OBJETO QUE PENETRE EN ESTA.

L) RIEGO LIGA: ES EL PRODUCTO ASFÁLTICO QUE SE APLICA SOBRE LA BASE IMPREGNADA Y ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARPETA, CON EL OBJETO DE LOGRAR CONTINUIDAD ENTRE ESTAS DOS CAPAS.

FUNCIONES DE LAS DIFERENTES CAPAS DE UN PAVIMENTO.

A) TERRACERIAS: LA FUNCIÓN DE LAS TERRACERÍAS ES LA DE DAR FORMA A LA OBRA CIVIL, RECIBIR LAS CARGAS DISIPADAS DE LOS VEHÍCULOS Y FORMAR UNA SUSTENTACIÓN ADECUADA PARA EL PAVIMENTO. SE COMPACTAN DE 90% A 95%, DE SU P.V.S.M. (SUELO DE MALA CALIDAD Y CARRETERA IMPORTANTE).

B) SUBRASANTE: CONSTITUYE UNA TRANSICIÓN ENTRE EL PAVIMENTO Y LA TERRACERÍA, SE EXIGE QUE LOS MATERIALES TENGAN UN V.R.S. MAYOR DEL 5% Y UNA EXPANSIÓN MENOR DEL 5%.

❖ RECIBIR Y RESISTIR LAS CARGAS DE TRANSITO, QUE LE SON TRANSMITIDAS POR EL PAVIMENTO.



- ❖ TRANSMITIR Y DISTRIBUIR ADECUADAMENTE LAS CARGAS DE TRANSITO AL CUERPO DEL TERRAPLÉN.

ESTAS DOS FUNCIONES SON COMUNES A TODAS LAS CAPAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE UNA VÍA TERRESTRE.

- ❖ EVITAR QUE EL PAVIMENTO SEA OBSTRUIDO POR LAS TERRACERÍAS.
- ❖ EVITAR QUE LAS IMPERFECCIONES DE LA CAMA DE LOS CORTES SE REFLEJEN EN LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.
- ❖ ECONOMIZAR ESPESORES DEL PAVIMENTO, EN ESPECIAL CUANDO LOS MATERIALES DE LAS TERRACERÍAS REQUIEREN UN ESPESOR GRANDE.

C) SUB-BASE.

- ❖ UNA DE LAS FUNCIONES ES DE ECONOMIZAR, YA QUE ES MÁS FACTIBLE REALIZAR UNA CAPA AUN QUE DE MAYOR ESPESOR PERO DE MENOR CALIDAD QUE LA BASE.
- ❖ LA SUB-BASE, MAS FINA QUE LA BASE ACTÚA COMO FILTRO DE ESTA E IMPIDE SU INCRUSTACIÓN EN LA SUBRASANTE.
- ❖ ABSORBE DEFORMACIONES PERJUDICIALES EN LA SUBRASANTE, POR EJEMPLO CAMBIOS VOLUMÉTRICOS ASOCIADOS A CAMBIOS DE HUMEDAD, IMPIDIENDO QUE SE REFLEJEN EN LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.
- ❖ ACTÚA COMO DREN PARA DESALOJAR EL AGUA DEL PAVIMENTO Y PARA IMPEDIR LA ASCENSIÓN CAPILAR HACIA LA BASE, DEL AGUA PROCEDENTE D LA TERRACERÍA.
- ❖ RECIBIR Y RESISTIR LAS CARGAS DE TRÁNSITO A TRAVÉS DE LA CAPA QUE CONSTITUYE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO (CARPETA ASFÁLTICA O LOSA).



D) BASE

- ❖ PROPORCIONAR UN ELEMENTO RESISTENTE AL PAVIMENTO PARA TRANSMITIR A LA SUB-BASE Y A LA SUBRASANTE ESFUERZOS DE MENOR INTENSIDAD.
- ❖ DRENAR EL AGUA QUE SE INTRODUZCA POR LA CARPETA, ASÍ COMO IMPEDIR LA ASCENSIÓN CAPILAR.

E) CARPETA.

- ❖ IMPEDIR EL PASO DEL AGUA AL INTERIOR DEL PAVIMENTO.
- ❖ PROPORCIONAR UNA SUPERFICIE DE RODAMIENTO ADECUADA.

LA CAPACIDAD DE CARGA DE LOS MATERIALES FRICCIONANTES ES BAJA EN LA SUPERFICIE POR FALTA DE CONFINAMIENTO, RAZÓN POR LA CUAL SE NECESITA QUE SOBRE DE ELLA EXISTA UNA CAPA DE MATERIAL COHESIVO Y CON RESISTENCIA A LA TENSIÓN. LO ANTERIOR LO PROPORCIONA LA CARPETA ASFÁLTICA.

PAVIMENTO RÍGIDO Y FUNCIONES DE LAS DIFERENTES CAPAS.

PAVIMENTO: CONSTITUYE LA SUPERESTRUCTURA DEL CAMINO Y TIENE COMO FUNCIÓN SOPORTAR Y TRANSMITIR LAS CARGAS DE LOS VEHÍCULOS DISIPÁNDOLAS PARA QUE LAS TERRACERÍAS NO SUFRAN ASENTAMIENTOS PERJUDICIALES PARA EL CAMINO.

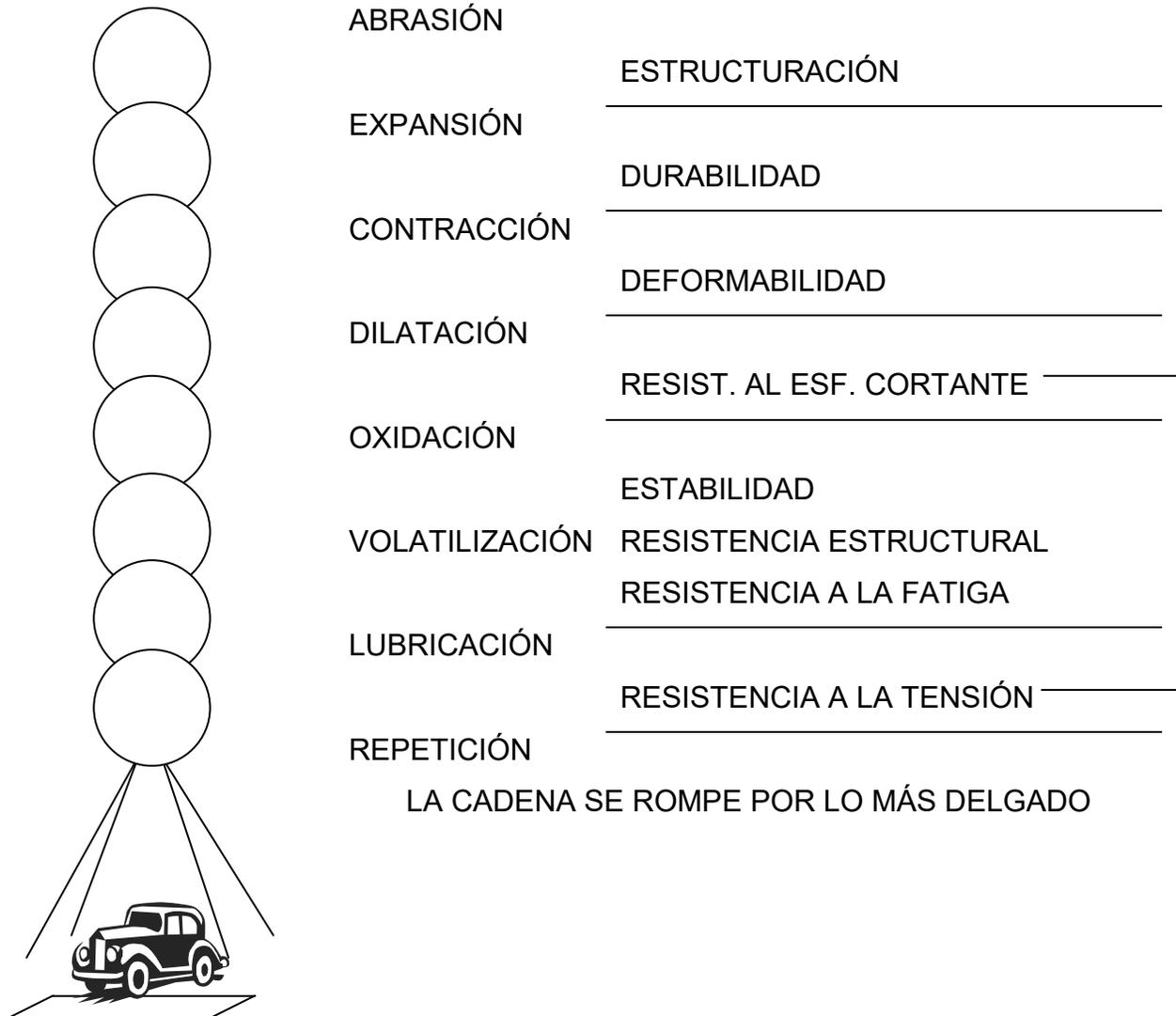
A) SUB-BASE. SIRVE DE APOYO A LA LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO; PROTEGE A LA LOSA DE CAMBIOS VOLUMÉTRICOS EN LA SUBRASANTE QUE INDUCIRÍAN ESFUERZOS ADICIONALES A LA LOSA. EL BOMBEO

SE CONTROLA CON UNA BUENA BASE. LA SUB-BASE CASI NO INFLUYE EN EL ESFUERZO DE LA LOSA, YA QUE ESTA DEBE SER CAPAZ DE SOPORTAR LAS CARGAS.



B) LOSA. SIMILAR A LA DE LA CARPETA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES MAS LA FUNCIÓN ESTRUCTURAL Y SOPORTE Y TRANSMITIR LAS CARGAS A LA SUBRASANTE.

FACTORES INTRÍNSECOS DE LOS PAVIMENTOS.



PICTOGRAMA QUE ILUSTRAN LOS FACTORES QUE AFECTAN EL DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS.



LEYENDA: LAS PROPIEDADES DEL PAVIMENTO ENCADENADOS, DEBEN RESISTIR TANTO EL INTEMPERISMO COMO TAMBIÉN SOPORTAR LAS CARGAS Y LOS EFECTOS DESTRUCTIVOS DEL TRANSITO.

LOS FACTORES INTRÍNSECOS DE LOS PAVIMENTOS SON SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES QUE DEBE TENER UN PAVIMENTO CONSIDERADO COMO UN CONJUNTO.

DEL ESQUEMA ANTERIOR PUEDEN DEDUCIRSE QUE A MEDIDA QUE EL TRÁNSITO AUMENTA Y EMPIEZA ATENER IMPORTANCIA SE HACE NECESARIO RECUBRIR LA SUPERFICIE DE LAS TERRACERÍAS CON UNA CAPA O CAPAS QUE CUMPLA CON LOS REQUISITOS SIGUIENTES:

SER ESTABLE ANTE LOS AGENTES DEL INTEMPERISMO.

SER RESISTENTE A LA ACCIÓN DE LAS CARGAS IMPUESTAS.

TENER TEXTURA APROPIADA AL RODAMIENTO.

SER DURABLE.

TENER CONDICIONES ADECUADAS EN LO REFERENTE A LA PERMEABILIDAD.

SER ECONÓMICA.

LOS REQUISITOS ANTERIORES DEFINEN UNA CAPA DE MATERIAL GRANULAR DE MUY BUENA CALIDAD QUE NO ES POSIBLE OBTENER EN FORMA NATURAL Y CUYAS PARTÍCULAS DEBEN DE ESTAR LIGADAS DE UN MODO ARTIFICIAL. LOS SUELOS NATURALES NUNCA PODRÍAN SOPORTAR LA ACCIÓN DIRECTA Y PROLONGADA DEL TRANSITO.

INICIALMENTE SE CONSTRUÍA UNA CAPA DE MUY BUENA CALIDAD, MUY COSTOSA, PERO DELGADA, POR LO QUE A PESAR DE SUS BUENAS PROPIEDADES TRANSMITÍA A LAS TERRACERÍAS NIVELAS DE ESFUERZO MUY ALTOS QUE PERJUDICABAN MUY PRONTO A LA PROPIA SUPERFICIE DE RODAMIENTO POR



FALTA DE UN APOYO ADECUADO. PARA SOLUCIONAR ESTE PROBLEMA SE SIGUE DOS CORRIENTES DIFERENTES.

- 1) LA CAPA DE RODAMIENTO SE CONSTRUYE CON SUFICIENTE ESPESOR Y DE UNA CALIDAD QUE SE LOGRE QUE LOS ESFUERZOS TRANSMITIDOS A LA TERRACERÍA SEAN COMPATIBLES CON LA CALIDAD DE ESTA.

ESTA CORRIENTE LLEVA A LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.

- 2) LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO SE LOGRA MEDIANTE UNA CAPA BITUMINOSA 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 DISMINUYA CON LA PROFUNDIDAD, DE ACUERDO CON LOS NIVELES DE ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL TRANSITO EN CADA NIVEL. ESTE ES EL CRITERIO QUE CONDUCE A LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

EN LOS DOS CASOS PUEDE DECIRSE QUE EL ESPESOR QUE EL ESPESOR DEL PAVIMENTO DEPENDE FUNDAMENTALMENTE DE LA CALIDAD DEL MATERIAL DE LA TERRACERÍA, QUE CONSTITUYE UN APOYO.

EN ALGUNAS OCASIONES SE INCREMENTA LA RESISTENCIA DE LAS CAPAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE CEMENTO, ASFALTO O CAL, LOGRÁNDOSE ASÍ GRANDES AHORROS EN ESPESOR DE LAS CAPAS Y UNA MEJOR DISTRIBUCIÓN DE LOS ESFUERZOS. ESTA SOLUCIÓN A BASE DE CAPAS SEMI-RÍGIDAS DE SUELO-CEMENTO, SUELO-ASFALTO, ETC, CONSTITUYEN UN TERCER TIPO DE PAVIMENTOS QUE SE LLAMAN PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS, SIN EMBARGO GENERALMENTE LOS ENCASILLAN EN EL GRUPO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES QUE DEBE TENER UN PAVIMENTO COMO CONJUNTO.



LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL.
LA DEFORMABILIDAD.
LA DURABILIDAD.
EL COSTO.
LOS REQUERIMIENTOS DE CONSERVACIÓN.
LA COMODIDAD.

A) LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL.

LA PRIMERA CONDICIÓN QUE DEBE DE CUMPLIR UN PAVIMENTO ES DE SOPORTAR LAS CARGAS IMPUESTAS POR EL TRANSITO.

LA METODOLOGÍA TEÓRICA PARA EL ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LOS PAVIMENTOS ES PROPORCIONADA POR LA MECÁNICA DE SUELOS, LA CUAL CONSIDERA QUE LOS ESFUERZOS CORTANTES SON LA PRINCIPAL CAUSA DE FALLA DESDE EL PUNTO DE VISTA ESTRUCTURAL. (SUELOS HOMOGÉNEOS, ISÓTROPAS, LOS PAVIMENTOS SON HETEROGÉNEOS, ANISÓTROPAS).

EL PROBLEMA DE LA RESISTENCIA DE LOS PAVIMENTOS, SE PLANTEA DESDE AL PUNTO DE VISTA DE LA ESTRUCTURA DE LOS MATERIALES DEL PAVIMENTO CONSIDERANDO A LA TERRACERÍA EN FORMA PASIVA, SIN EMBARGO EN MUCHAS DE LAS FALLAS EN PAVIMENTOS SE ORIGINAN PROBABLEMENTE EN LAS TERRACERÍAS.

OTRO FACTOR QUE INFLUYE EN LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES ES EL TIPO DE CARGA QUE SE APLICA, (CARGAS MÓVILES Y REPETITIVAS). EN LA ACTUALIDAD SE DETERMINA LA RESISTENCIA DE LOS PAVIMENTOS CONSIDERANDO CARGAS ESTÁTICAS Y CON VELOCIDAD DE APLICACIÓN LENTA. EL HECHO DE QUE LAS CARGAS ACTUANTES SEAN REPETITIVAS AFECTA A LA LARGA



LA RESISTENCIA DE LA CAPAS DEL PAVIMENTO DE RELATIVA RIGIDEZ (FATIGA), ES CAUSA DE LA RUPTURA DE LOS GRANOS.

LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES QUE FORMAN LOS PAVIMENTOS INTERESA DESDE DOS PUNTOS DE VISTA:

- 1) EN CUANTO A LA CAPACIDAD DE CARGA QUE PUEDEN DESARROLLAR LAS CAPAS CONSTITUYENTES DEL PAVIMENTO PARA SOPORTAR ADECUADAMENTE LAS CARGAS DE TRANSITO.
- 2) EN CUANTO ALA CAPACIDAD DE CARGA DE LA CAPA SUBRASANTE, EL QUE CONSTITUYA EL NEXO DEL PAVIMENTO Y LA TERRACERÍA, PARA SOPORTAR LOS ESFUERZOS TRANSMITIDOS Y TRANSMITIRLOS ALA TERRACERÍA A NIVELES CONVENIENTES.

UNA CAPA DELGADA PUEDE SOPORTAR EN SI MISMA LAS CARGAS IMPUESTAS, PERO TRANSMITIRÁ ALTOS ESFUERZOS A LOS INFERIORES, EN TANTO QUE UNA CAPA GRUESA, CUYA RESISTENCIA MEJORA UN POCO EN EL AUMENTO DEL ESPESOR, SE DISTINGUIRÁ POR TRANSMITIR ESFUERZOS MENORES A LAS CAPAS SUBYACENTES.

DE LO ARRIBA EXPUESTO UN SUBRASANTE RESISTENTE SERÁ CAPAZ DE TOLERAR NIVELES DE ESFUERZO RELATIVAMENTE ALTOS POR LO QUE PODRÍAN USARSE SOBRE ELLA ESPESOR DE CAPA REDUCIDOS Y ASÍ OBTENER IMPORTANTE AHORROS EN LA INVERSIÓN.

B) DEFORMABILIDAD.

EN ALGUNOS ASPECTOS 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



FORMA LAS CAPAS DEL PAVIMENTO, LA DEFORMABILIDAD SUELE CRECER MUCHO HACIA ABAJO Y LA TERRACERÍA ES MAS DEFORMABLE QUE EL PAVIMENTO PROPIAMENTE DICHO Y DENTRO DE ESTE, LA SUBRASANTE, CAPA INFERIOR, ES MUCHO MAS DEFORMABLE QUE LAS CAPAS SUPERIORES.

DESDE EL PUNTO DE VISTA LA DEFORMABILIDAD INTERESA SOBRE TODO A NIVELES RELATIVAMENTE PROFUNDOS, PUES ES 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 INGENIERÍA, DESDE DOS PUNTOS DE VISTA. POR UN LADO PORQUE LAS DEFORMACIONES EXCESIVAS ESTÁN ASOCIADAS A ESTADOS DE FALLA Y POR OTRO LADO, ES SABIDO QUE UN PAVIMENTO DEFORMADO PUEDE DEJAR DE CUMPLIR SUS FUNCIONES, INDEPENDIENTEMENTE DE QUE LAS DEFORMACIONES NO HAYAN CONDUCIDO A UN LAPSO ESTRUCTURAL PROPIAMENTE DICHO, ES DECIR DEBEN DE CUMPLIR TANTO LA CONDICIÓN DE FALLA COMO LA DE SERVICIO.

LAS CARGAS DE TRÁNSITO PRODUCEN EN EL PAVIMENTO DEFORMACIONES DE VARIS CLASES. LAS ELÁSTICAS SON DE RECUPERACIÓN EN EL PAVIMENTO DESPUÉS DE CESAR LA CARGA DEFORMADORA. BAJO CARGA MÓVIL Y REPETITIVA LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA TIENDE A HACERSE ACUMULATIVA Y PUEDE LLEGAR ATENER VALORES INADMISIBLES. PARADÓJICAMENTE ESTE PROCESO VA ACOMPAÑADO DE UNA COMPACTACIÓN O DENSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES, DE MANERA QUE EL PAVIMENTO "FALLADO", PUEDE SER MAS RESISTENTE QUE EL ORIGINAL.

EN LA ACTUALIDAD UN BUEN NUMERO DE MÉTODOS DE DISEÑO SE BASAN EN MANTENER ALA DEFORMACIÓN DENTRO DE LIMITES TOLERABLES.



EXISTEN DOS CRITERIOS PARA FIJAR LA DEFORMACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE. ES LA QUE PRODUCE LA FALLA DEL CAMINO, ENTENDIENDO POR ESTA LA CONDICIÓN EN LA QUE EL PAVIMENTO LLEGA A PERDER LAS CARACTERÍSTICAS DE SERVICIO PARA LAS (AASHO), QUE FUE DISEÑADA O BIEN SE TOMA EN CUENTA LA DEFORMACIÓN QUE OBLIGUE A UNA DE RECONSTRUCCIÓN DE DETERMINADA IMPORTANCIA (CRITERIO BRITÁNICO).

C) LA DURABILIDAD.

LAS INCERTIDUMBRES PRÁCTICAS LIGADAS A LA DURABILIDAD DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE SON GRANDES Y DIFÍCILES DE TRATAR.

ES DIFÍCIL DEFINIR CUAL ES LA DURABILIDAD DESEADA QUE HAYA DE LOGRARSE EN CADA CASO. EVIDENTEMENTE QUE ESTA LIGADAS A UNA SERIE DE FACTORES ECONÓMICOS Y SOCIALES DEL PROPIO CAMINO; EN UNA OBRA MODESTA LA DURACIÓN DEL PAVIMENTO PUEDE SER PUEDE SER MUCHO MENOR QUE LA DEL CAMINO, CON TAL DE QUE LA SERIE DE RECONSTRUCCIONES QUE ENTONCES SE REQUIERAN VALGA MENOS QUE EL COSTO INICIAL DE UN PAVIMENTO MUCHO MENOS DURABLE, MAS EL VALOR QUE PUEDA DARSE AL LAS INTERRUPCIONES DE SERVICIO A QUE LAS RECONSTRUCCIONES DEN LUGAR; POR EL CONTRARIO EN OBRAS DE MUY ALTO TRANSITO Y GRAN IMPORTANCIA ECONÓMICA SE REQUERIRÁN PAVIMENTOS MUY DURADEROS A FIN DE NO TENER QUE RECURRIR A COSTOSAS INTERRUPCIONES DE UN TRANSITO IMPORTANTE.

PARA LOGRA LA DURABILIDAD DESEADA UNA VEZ FIJADA, SURGEN MUCHAS INCERTIDUMBRES A FIN DE LOGRARLA, YA QUE HAY QUE ANALIZAR EL EFECTO DEL CLIMA Y DEL TRANSITO CUYA INFLUENCIA EN LA VIDA DEL PAVIMENTO NO PUEDE DEFINIRSE CON EXACTITUD. (LLUVIAS, CICLONES, INUNDACIONES, TERREMOTOS); EN LA ACTUALIDAD NO EXISTE UN MÉTODO DE DISEÑO QUE TOME TODOS ESTOS EFECTOS.



D) EL COSTO.

COMO TODAS LAS ESTRUCTURAS DE INGENIERÍA UN PAVIMENTO REPRESENTA UN BALANCE ENTRE LA RESISTENCIA Y LA ESTABILIDAD, POR UN LADO Y EL COSTO POR EL OTRO.

UN DISEÑO CORRECTO ES AQUEL QUE LLEGUE A SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS DE UN SERVICIO A UN COSTO MÍNIMO.

PARA LOGRAR EL EQUILIBRIO ANTES MENCIONADO SE PUEDE SEGUIR MUCHAS LÍNEAS DE CONDUCTA Y DE AQUÍ SURGE UNO DE LOS ASPECTOS MÁS INCIERTOS Y DE LOS QUE REQUIERE MAS CRITERIO.

LA PRIMERA DECISIÓN EN TOMAR DEBE SER EL TIPO DE PAVIMENTO A EMPLEAR, ES DECIR SI SE EMPLEARA UN PAVIMENTO RÍGIDO, FLEXIBLE O SEMI-RÍGIDO, YA QUE CADA UNO DE ELLOS TIENE SUS VENTAJAS COMPARATIVAMENTE ABLANDO.

EN GENERAL LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS DEMANDAN POCO GASTO DE CONSERVACIÓN Y SE DETERIORAN POCO, PERO SU COSTO DE CONSTRUCCIÓN ES ELEVADO Y ESTÁN SUJETOS A LA EXISTENCIA DE LOS MATERIALES NECESARIOS Y A UN EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADO.

LOS PAVIMENTO FLEXIBLES REQUIEREN MENOR INVERSIÓN INICIAL, PERO UNA CONSERVACIÓN MAS COSTOSA. LOS PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS PUEDEN CONSTRUIR SOLUCIONES MUY ECONÓMICAS, CUANDO LOS MATERIALES DE QUE SE DISPONE PARA LA CONSTRUCCIÓN LOS HACEN CONVENIENTES, PUES PERMITEN APRECIABLES REDUCCIONES EN LOS ESPESORES. NO HAY REGLA FIJA QUE PERMITA ESTABLECER EL TIPO DE PAVIMENTO CONVENIENTE EN CADA CASO Y ESTO DEBERÁ DE ESTABLECERSE EN CADA SITUACIÓN PARTICULAR.



LAS NORMAS ANTERIORES PERMITEN PENSAR QUE LOS PAVIMENTO RÍGIDOS SERÁN ESPECIALMENTE DESEABLES EN ZONAS URBANAS, CALLES Y AVENIDAS Y EN CARRETERAS DE MUY ALTO TRANSITO, EN LA 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 PAVIMENTO RÍGIDOS, DEBIDO AL A MAYOR SUAVIDAD DE OPERACIÓN QUE CON ELLOS PUEDE LOGRARSE CUANDO ESTA BIEN CONSTRUIDOS Y A LA MAYOR DURABILIDAD, POR EL USO DE PAVIMENTO RÍGIDOS EN AEROPUERTOS ES CASI UNIVERSAL, PERO DEBE ANALIZARSE MAS CUIDADOSAMENTE ESTO, YA QUE EN MÉXICO, UN PAVIMENTO FLEXIBLE PUEDE SER DOS O DOS Y MEDIA VECES MAS BARATO QUE UN RÍGIDO; ESTE HECHO INCLINA LA BALANZA A FAVOR DE LA PISTAS ASFÁLTICAS EN AEROPISTAS MÁS MODESTAS, EN QUE EL MENOR TRAFICO AÉREO DEBILITA LA ARGUMENTACIÓN A FAVOR DE LA COMODIDAD, LA SEGURIDAD O LA RAPIDEZ DE OPERACIÓN YA QUE LAS INTERRUPTIONES DE SERVICIO POR OPERACIONES PERIÓDICAS DE CONSERVACIÓN NO CAUSAN TRASTORNOS.

ELEGIDO EL TIPO DE PAVIMENTO, DEBERÁN DE SELECCIONARSE LOS MATERIALES QUE INTERVENDRÁN EN SU ESTRUCTURA. ES POSIBLE QUE EXISTAN EN ABUNDANCIA Y QUE EL PROBLEMA SE REDUZCA A ELEGIR SU SELECCIÓN, PERO TAMBIÉN ES POSIBLE QUE ESCASEEN EN TAL GRADO QUE OBLIGUEN AL PROYECTO DEL PAVIMENTO EN SU CONJUNTO A ADAPTARSE A LOS MATERIALES QUE EXISTAN.

CUANDO SE FIJAN LOS BANCOS DE MATERIALES QUE SE UTILIZARÁN EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN PAVIMENTO ACARREA CONSIGO MUCHOS PROBLEMAS DE SOLUCIÓN INCIERTA EN LO REFERENTE A LA HOMOGENEIDAD DE LOS BANCOS, LOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN A SEGUIR, LOS TRATAMIENTOS A DAR A LOS DIFERENTES MATERIALES, EL VOLUMEN DE LOS DESPERDICIOS Y DEL MATERIA APROVECHABLE, ETC, TODOS LOS CUALES SE REFLEJAN MUCHO EN LOS COSTOS.



OTRO DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN FORMA DECISIVA DE LOS COSTOS DE UN PAVIMENTO Y PARA CUYA DEFINICIÓN NO EXISTEN TAMPOCO REGLAS FIJAS CONFIABLES ES EL RELATIVO A LAS NORMAS DE CONSTRUCCIÓN A QUE HAN DE SUJETARSE LOS DIFERENTES MATERIALES PARA CUMPLIR CON LOS REQUERIMIENTOS DE UN PROYECTO DETERMINADO. LA COMPACTACIÓN POR EJEMPLO, INVOLUCRA UN GRAN NUMERO DE INCERTIDUMBRES IMPORTANTES QUE HAN DE RESOLVERSE SOBRE LA MARCHA CON BASE A LA EXPERIENCIA Y EN EL SENTIDO COMÚN DE LOS PROYECTISTAS Y CONSTRUCTORES.

E) LOS REQUERIMIENTOS DE CONSERVACIÓN.

UNA VEZ UNA GRAN CANTIDAD DE INCERTIDUMBRES DE LA S QUE SE PLANTEA EN LA PRÁCTICA DE LOS PAVIMENTOS TIENE QUE VER CON LA CONSERVACIÓN.

LOS FACTORES CLIMÁTICOS INFLUYEN DECISIVAMENTE EN LA VIDA DE LOS PAVIMENTOS, POR LO QUE EL PROYECTO HA DE TOMARLOS EN CUENTA PARA PRESERVARLOS, A FIN DE DEJAR A LA CONSERVACIÓN UNA TAREA RAZONABLE; SIN EMBARGO, ES OBVIO QUE TALES FACTORES INVOLUCRAN MUCHOS ELEMENTOS DE ESTIMACIÓN DIFÍCIL A PESAR DE LO CUAL ESTA DEBE DE INTENTARSE SIEMPRE, CONJUGANDO LA EXPERIENCIA PRECEDENTE DE UNA BUENA INFORMACIÓN DE LAS CONDICIONES LOCALES.

LA INTENSIDAD DE TRÁNSITO TAMBIÉN SE REFLEJA EN EL ASPECTO QUE SE ANALIZA; SE TRATA AHORA DE PREVER EL CRECIMIENTO FUTURO TANTO DEL NUMERO COMO DEL TIPO DE VEHÍCULOS CIRCUNDANTES, YA QUE DE LO CONTRARIO LA TAREA DE CONSERVAR EL PAVIMENTO SERÁ MUY DIFÍCIL.

OTRO FACTOR A TOMAR EN CUENTA ES EL FUTURO COMPORTAMIENTO DE LA TERRACERÍAS SU DEFORMACIONES, DERRUMBES, PUES DE OTRA MANERA PODRÁ LLEGARSE A GRANDES PROBLEMAS DE CONSERVACIÓN Y DE



RECONSTRUCCIÓN. ES FRECUENTE QUE EL COMPORTAMIENTO ESPERADO PARA LAS TERRACERÍAS SE REFLEJE EN FORMA DECISIVA EN LOS PAVIMENTOS.

LAS CONDICIONES DE DRENAJE Y SUB.-DRENAJE DE LA VÍA TERRESTRE SON SEGURAMENTE UNO DE LOS PUNTOS MÁS IMPORTANTES PARA DEFINIR LA VIDA DE UN PAVIMENTO, COMO DE SU NECESIDAD DE CONSERVACIÓN.

LA DISGREGACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS POR CARGA REPETIDA, ES OTRO ASPECTO IMPORTANTE A REFLEJARSE EN LOS REQUERIMIENTOS DE CONSERVACIÓN AUNQUE EXISTEN EN LA ACTUALIDAD ALGUNAS PRUEBAS ORIENTADORAS EN RELACIÓN CON EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES A ESTE RESPECTO, SON MUCHAS LAS DUDAS QUE EXISTEN EN LA ACTUALIDAD; ES FUNDAMENTAL QUE ESTAS SEAN RESUELTAS SEAN RESUELTAS CON BUEN JUICIO Y EXPERIENCIA, PUES ES UN HECHO COMPROBADO QUE LOS DESCUIDOS EN ESTE TERRENO SE REFLEJAN RÁPIDAMENTE EN UNA CONSERVACIÓN COSTOSA Y AUN EN LA NECESIDAD DE RECONSTRUCCIONES.

FRECUENTEMENTE LOS PAVIMENTOS SUFREN FALTA DE CONSERVACIÓN SISTEMÁTICA, CON LO QUE SU VIDA SE ACORTA. ESTO SUCEDE SOBRE TODO INVOCANDO ESCASEZ DE RECURSOS O IMPOSTERGABLES NECESIDADES SOCIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS NUEVAS.

F) LA COMODIDAD.

SOBRE TODO EN GRANDES AUTOPISTAS Y CAMINOS DE PRIMER ORDEN, LAS PRUEBAS Y MÉTODOS DE DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS DEBEN VERSE AFECTADOS POR LA COMODIDAD QUE EL USUARIO REQUIERE PARA TRANSITAR A LA VELOCIDAD DE PROYECTO.

TAMBIÉN QUEDAN INCLUIDAS ES ESTE ASPECTO LA SEGURIDAD Y LA ESTÉTICA DEL CAMINO.



LAS DEFORMACIONES LONGITUDINALES DE UN PAVIMENTO, PUEDEN CONSTITUIR UNA GRAN INCOMODIDAD PARA EL USUARIO, AUNQUE DESDE EL PUNTO DE VISTA ESTRUCTURAL NO REPRESENTAN NINGÚN PELIGRO DE FALLA.

PARA PODER DESARROLLAR UNA TECNOLOGÍA ADECUADA DE LOS PAVIMENTOS DEBE TENERSE UN SÓLIDO CONOCIMIENTO DE LOS MATERIALES Y LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE LOS SUELOS PROPORCIONADA POR LA MECÁNICA DE LOS SUELOS.

UN PAVIMENTO NO DEBE DE CONSIDERARSE COMO UN CONJUNTO DE CAPAS COLOCADAS EN LA PARTE SUPERIOR DE UN CAMINO, COMO COMÚNMENTE SE HACE, SI NO QUE SERÍA MÁS RACIONAL HABLAR DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CAMINO, QUE INCLUYEN EN UN CONJUNTO ÚNICO AL TERRENO DE CIMENTACIÓN, TERRACERÍAS, SUB.-RASANTE, BASE Y CARPETA. PARECE MUY DIFÍCIL LLEGAR A PROYECTAR CON ÉXITO LOS PAVIMENTOS MIENTRAS SE SIGA CONCENTRANDO LA ATENCIÓN SOLO A LAS CAPAS SUPERIORES, SIENDO QUE LAS INFERIORES INFLUYEN SIEMPRE Y FRECUENTEMENTE SON DETERMINANTES.



CAPITULO 2 ESTUDIO DE INGENIERIA DE TRANSITO

2.1. INGENIERÍA DE TRÁNSITO.

LA INGENIERÍA DE TRANSPORTE ES LA APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS TECNOLÓGICOS Y CIENTÍFICOS A LA PLANEACIÓN, AL PROYECTO FUNCIONAL, A LA OPERACIÓN Y A LA ADMINISTRACIÓN DE LAS DIVERSAS PARTES DE CUALQUIER MODO DE TRANSPORTE, CON EL FIN DE PROVEER LA MOVILIZACIÓN DE PERSONAS Y MERCANCÍAS DE UNA MANERA SEGURA, RÁPIDA, CONFORTABLE, CONVENIENTE, ECONÓMICA Y COMPATIBLE CON EL MEDIO AMBIENTE.

LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO ES AQUELLA FASE DE LA INGENIERÍA DE TRANSPORTE QUE TIENE QUE VER CON LA PLANEACIÓN, EL PROYECTO GEOMÉTRICO Y LA OPERACIÓN DEL TRÁNSITO POR CALLES Y CARRETERAS, SUS REDES, TERMINALES, TIERRAS ADYACENTES Y SU RELACIÓN CON OTROS MODOS DE TRANSPORTE.

ASÍ DEFINE ESTAS DOS ÁREAS EL INSTITUTO DE INGENIEROS DEL TRANSPORTE (ITE). ES DECIR, QUE EL PROYECTO GEOMÉTRICO ES UNA ETAPA DE LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO, LA CUAL ES UN SUBCONJUNTO DE LA INGENIERÍA DEL TRANSPORTE.

EL PROYECTO GEOMÉTRICO DE CALLES Y CARRETERAS ES EL PROCESO DE CORRELACIÓN ENTRE SUS ELEMENTOS FÍSICOS Y LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS, MEDIANTE EL USO DE LAS MATEMÁTICAS, LA FÍSICA Y LA GEOMETRÍA. EN ESTE SENTIDO, VIALIDAD QUEDA DEFINIDA, GEOMÉTRICAMENTE, POR EL PROYECTO DE SU EJE EN PLANTA (ALINEAMIENTO HORIZONTAL), Y EN PERFIL (ALINEAMIENTO VERTICAL), Y POR EL PROYECTO DE SU SECCIÓN TRANSVERSAL.



2.2. VOLUMEN DE TRÁNSITO.

SE DEFINE VOLUMEN DE TRÁNSITO, COMO EL NÚMERO DE VEHÍCULOS QUE PASAN POR UN PUNTO O SECCIÓN TRANSVERSAL DADOS, DE UN CARRIL O DE UNA CALZADA, DURANTE UN PERIODO DETERMINADO. SE EXPRESA COMO:

$$Q = N / T$$

DONDE:

- Q = VEHÍCULOS QUE PASAN POR UNIDAD DE TIEMPO (VEHÍCULOS / PERIODO)
- N = NÚMERO TOTAL DE VEHÍCULOS QUE PASAN (VEHÍCULOS)
- T = PERIODO DETERMINADO (UNIDADES DE TIEMPO)

2.3 USO DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO.

DE UNA MANERA GENERAL, LOS DATOS SOBRE VOLÚMENES DE TRÁNSITO SE UTILIZAN AMPLIAMENTE EN LOS SIGUIENTES CAMPOS:

PLANEACIÓN.

- CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA DE REDES DE CARRETERAS.
- ESTIMACIÓN DE LOS CAMBIOS ANUALES EN LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO.
- MODELOS DE ASIGNACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO.
- DESARROLLO DE PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO, MEJORAS Y PRIORIDADES.
- ANÁLISIS ECONÓMICOS.
- ESTIMACIONES DE CALIDAD DEL AIRE.
- ESTIMACIONES DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES.



PROYECTO.

- APLICACIÓN A NORMAS DE PROYECTO GEOMÉTRICO.
- REQUERIMIENTOS DE NUEVAS CARRETERAS.
- ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO.

INGENIERÍA DE TRÁNSITO.

- ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO EN TODO TIPO DE VIALIDADES.
- CARACTERIZACIÓN DE FLUJOS VEHICULARES.
- ZONIFICACIÓN DE VELOCIDADES.
- NECESIDAD DE DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO.
- ESTUDIO DE ESTACIONAMIENTOS.

SEGURIDAD.

- CÁLCULO DE ÍNDICES DE ACCIDENTES Y MORTALIDAD.
- EVALUACIÓN DE MEJORAS POR SEGURIDAD.

INVESTIGACIÓN.

- NUEVAS METODOLOGÍAS SOBRE CAPACIDAD.
- ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN EN EL CAMPO DE LOS ACCIDENTES Y LA SEGURIDAD.
- ESTUDIO SOBRE AYUDAS, PROGRAMAS O DISPOSITIVOS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE TRÁNSITO.
- ESTUDIOS DE ANTES Y DESPUÉS.
- ESTUDIOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y LA ENERGÍA.



USOS COMERCIALES.

- HOTELES Y RESTAURANTES.
- URBANISMO.
- AUTOSERVICIOS.
- ACTIVIDADES RECREACIONALES Y DEPORTIVAS.

ESPECÍFICAMENTE, DEPENDIENDO DE LA UNIDAD DE TIEMPO EN QUE SE EXPRESEN LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, ESTOS SE UTILIZAN PARA:

1. LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO ANUAL (TA).
 - DETERMINAR LOS PATRONES DE VIAJE SOBRE ÁREAS GEOGRÁFICAS.
 - ESTIMAR LOS GASTOS ESPERADOS DE LOS USUARIOS DE LA CARRETERAS.
 - CALCULAR ÍNDICES DE ACCIDENTES.
 - INDICAR LAS VARIACIONES Y TENDENCIAS DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, ESPECIALMENTE EN CARRETERAS DE CUOTA.

2. LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (TPD).
 - MEDIR LA DEMANDA ACTUAL EN CALLES Y CARRETERAS.
 - EVALUAR LOS FLUJOS DE TRÁNSITO ACTUALES CON RESPECTO AL SISTEMA VIAL.
 - DEFINIR EL SISTEMA ARTERIAL DE CALLES.
 - LOCALIZAR ÁREAS DONDE SE NECESITE CONSTRUIR NUEVAS VIALIDADES O MEJORAR LAS EXISTENTES.
 - PROGRAMAR MEJORAS CAPITALES.



3. LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO HORARIO (TH).

- DETERMINAR LA LONGITUD Y MAGNITUD DE LOS PERIODOS DE MÁXIMA DEMANDA.
- EVALUAR DEFICIENCIAS DE CAPACIDAD.
- ESTABLECER CONTROLES EN EL TRÁNSITO, COMO: COLOCACIÓN DE SEÑALES, SEMÁFOROS Y MARCAS VIALES; JERARQUIZACIÓN DE CALLES, SENTIDOS DE CIRCULACIÓN Y RUTAS DE TRÁNSITO Y PROHIBIDO DE ESTACIONAMIENTO, PARADAS Y MANIOBRAS DE VUELTAS.
- PROYECTAR Y REDISEÑAR GEOMÉTRICAMENTE CALLES E INTERSECCIONES.

4. LAS TASAS DE FLUJO (Q).

- ANALIZAR LOS FLUJOS MÁXIMOS.
- ANALIZAR VARIACIONES DEL FLUJO DENTRO DE LAS HORAS DE MÁXIMA DEMANDA.
- ANALIZAR LIMITACIONES DE CAPACIDAD EN EL FLUJO DE TRÁNSITO.
- ANALIZAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS VOLÚMENES MÁXIMOS.

2.4 DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO.

LA DISTRIBUCIÓN DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO POR CARRILES DEBE SER CONSIDERADA, TANTO EN EL PROYECTO COMO EN LA OPERACIÓN DE CALLES Y CARRETERAS. TRATÁNDOSE DE TRES O MÁS CARRILES DE OPERACIÓN EN UN SENTIDO, EL FLUJO SE SEMEJA A UNA CORRIENTE HIDRÁULICA. ASÍ, AL MEDIR LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO POR CARRIL, EN ZONA URBANA, LA MAYOR VELOCIDAD Y CAPACIDAD, GENERALMENTE SE LOGRAN EN EL CARRIL MEDIO; LAS FRICCIONES LATERALES, COMO PARADAS DE AUTOBUSES Y TAXIS Y LAS VUELTAS IZQUIERDAS Y DERECHAS CAUSAN UN FLUJO MÁS LENTO EN LOS CARRILES EXTREMOS,



LLEVANDO EL MENOR VOLUMEN EN CARRIL CERCANO A LA ACERA. EN CARRETERA, A VOLÚMENES BAJOS Y MEDIOS SUELE OCURRIR LO CONTRARIO, POR LO QUE SE RESERVA EL CARRIL CERCA DE LA FAJA SEPARADORA CENTRAL PARA VEHÍCULOS MÁS RÁPIDOS, PARA REBASES Y SE PRESENTAN MAYORES VOLÚMENES EN EL CARRIL INMEDIATO AL ACOTAMIENTO. EN AUTOPISTAS DE TRES CARRILES CON ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, RURALES O URBANAS, POR LO GENERAL HAY MAYORES VOLÚMENES EN EL CARRIL INMEDIATO A LA FAJA SEPARADORA CENTRAL.

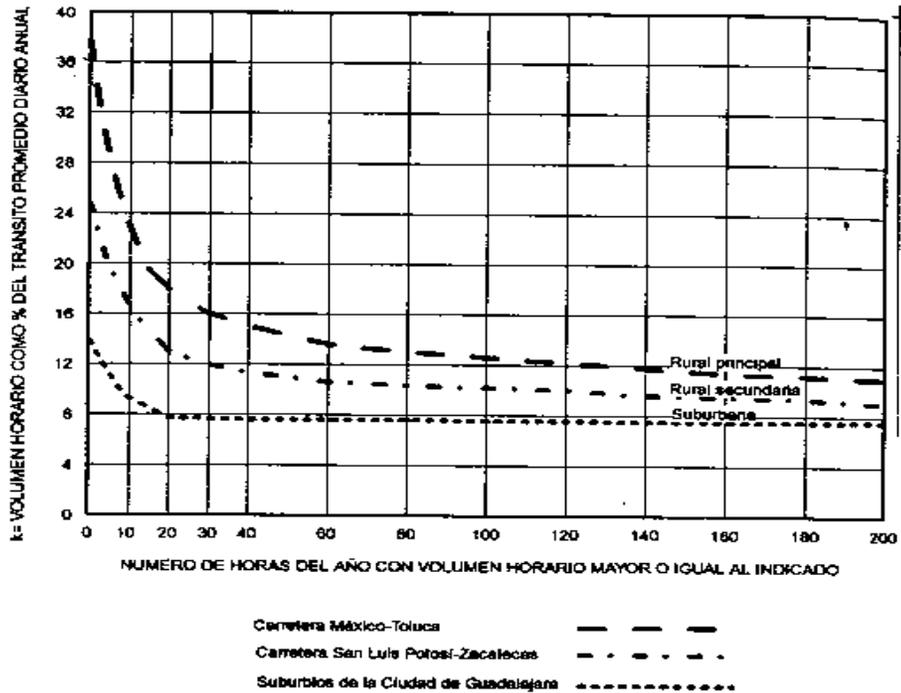
EN CUANTO A LA DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL, EN LAS CALLES QUE COMUNICAN EL CENTRO DE LA CIUDAD CON LA PERIFERIA DE LA MISMA, EL FENÓMENO COMÚN QUE SE PRESENTA EN EL FLUJO DE TRÁNSITO ES DE VOLÚMENES MÁXIMOS HACIA EL CENTRO EN LA MAÑANA Y HACIA LA PERIFERIA EN LAS TARDES Y NOCHES. ES UNA SITUACIÓN SEMEJANTE AL FLUJO Y REFLUJO QUE SE PRESENTA LOS FINES DE SEMANA CUANDO LOS VACACIONISTAS SALEN DE LA CIUDAD EL VIERNES Y SÁBADO Y REGRESAN EL DOMINGO EN LA TARDE. ESTE FENÓMENO SE PRESENTA ESPECIALMENTE EN ARTERIAS DEL TIPO RADIAL. EN CAMBIO, CIERTAS ARTERIAS URBANAS QUE COMUNICAN “CENTROS DE GRAVEDAD” IMPORTANTES, NO REGISTRAN VARIACIONES DIRECCIONALES MUY MARCADAS EN LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO.

IGUALMENTE, EN LOS ESTUDIOS DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO MUCHAS VECES ES ÚTIL CONOCER LA COMPOSICIÓN Y VARIACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE VEHÍCULOS. LA COMPOSICIÓN VEHICULAR SE MIDE EN TÉRMINOS DE PORCENTAJES SOBRE EL VOLUMEN TOTAL. POR EJEMPLO, PORCENTAJE DE AUTOMÓVILES, DE AUTOBUSES Y DE CAMIONES. EN LOS PAÍSES MÁS ADELANTADOS, CON UN MAYOR GRADO DE MOTORIZACIÓN, LOS PORCENTAJES DE AUTOBUSES Y CAMIONES EN LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO SON BAJOS. EN CAMBIO, EN PAÍSES CON MENOR GRADO DE DESARROLLO, EL PORCENTAJE DE ESTOS VEHÍCULOS GRANDES Y LENTOS ES MAYOR. EN NUESTRO MEDIO, COMO ES EL CASO DE MÉXICO Y COLOMBIA, A NIVEL RURAL, ES MUY COMÚN ENCONTRAR



PORCENTAJES TÍPICOS O MEDIOS DEL ORDEN DE 60% AUTOMÓVILES, 10% AUTOBUSES Y 30% CAMIONES, CON VARIACIONES DE MÁS-MENOS 10%, DEPENDIENDO DEL TIPO DE CARRETERA, LA HORA DEL DÍA Y EL DÍA DE LA SEMANA.

2.5 RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN HORARIO DE PROYECTO Y EL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL.



SI SE HICIERA UNA LISTA DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO HORARIO QUE SE PRESENTAN EN EL AÑO, EN ORDEN DESCENDENTE, SERÍA POSIBLE DETERMINAR LOS VOLÚMENES HORARIOS DE LA 10ª, 20AVA, 30AVA, 50AVA, 70AVA Ó 100AVA HORA DE MÁXIMO VOLUMEN. UNA GUÍA PARA DETERMINAR EL VOLUMEN HORARIO DE PROYECTO (VHP), ES PRECISAMENTE UNA CURVA QUE INDIQUE LA VARIACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO HORARIO DURANTE EL AÑO. LA FIGURA MUESTRA TRES CURVAS QUE RELACIONAN LOS VOLÚMENES HORARIOS MÁS ALTOS DEL AÑO Y EL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA), DE LAS CARRETERAS NACIONALES.



ESTAS CURVAS TAMBIÉN INDICAN QUE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO HORARIO EN UNA CARRETERA PRESENTAN UNA AMPLIA DISTRIBUCIÓN DURANTE EL AÑO Y QUE EN TÉRMINOS GENERALES, LA MAYOR PARTE DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO OCURRE DURANTE UN NÚMERO RELATIVAMENTE PEQUEÑO DE HORAS.

COMÚNMENTE SE UTILIZA EL VOLUMEN DE LA 30AVA HORA, ESTIMADO AL FUTURO, PARA FINES DE PROYECTO. POR LO TANTO, COMO SE PUEDE APRECIAR EN ESTAS CURVAS, EL VOLUMEN HORARIO DE PROYECTO PARA ESTA HORA ESTÁ COMPRENDIDO ENTRE EL 8% Y EL 16% DEL TPDA. ASÍ PARA CARRETERAS SUBURBANAS, EL VOLUMEN DE PROYECTO DE LA 30AVA HORA ES APROXIMADAMENTE EL 57% DE LA HORA MÁXIMO VOLUMEN (8% ENTRE 14%), PARA CARRETERAS RURALES SECUNDARIAS EL 46% (12% ENTRE 26%) Y PARA CARRETERAS RURALES PRINCIPALES EL 42% (16% ENTRE 38%). ESTOS PORCENTAJES SIGNIFICAN UN AHORRO CONSIDERABLE EN EL PROYECTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL CON UN BUEN CRITERIO EN LA SELECCIÓN DEL VOLUMEN HORARIO PRONOSTICADO. EN OCASIONES QUIZÁ CONVenga CONSIDERAR LA 50AVA HORA DE MÁXIMO VOLUMEN, COMO NORMA DE PROYECTO, EN CONDICIONES DE PRESUPUESTOS MUY LIMITADOS.

DE ACUERDO A LO ANTERIOR EN LOS PROYECTOS DE CARRETERAS, EL VOLUMEN HORARIO DE PROYECTO (VHP), PARA EL AÑO DE PROYECTO EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA), SE EXPRESA COMO:

$$VHP = K (TPDA)$$

DONDE:

K = VALOR ESPERADO DE LA RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN DE LA N-AVA HORA MÁXIMA SELECCIONADA Y EL TPDA DEL AÑO DE PROYECTO.

POR LO TANTO, TOMANDO COMO REFERENCIA LAS TRES CURVAS ANTERIORES, SI SE SELECCIONA EL VOLUMEN DE LA 30AVA HORA COMO EL DE



PROYECTO, PARA PROYECCIONES A AÑOS FUTUROS EN CARRETERAS, SE RECOMIENDAN LOS SIGUIENTES VALORES DE K:

PARA CARRETERAS SUBURBANAS:	K = 0.08
PARA CARRETERAS RURALES SECUNDARIAS:	K = 0.12
PARA CARRETERAS RURALES PRINCIPALES:	K = 0.16

2.6 RELACIÓN ENTRE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO, ANUAL Y SEMANAL.

CON RESPECTO A VOLÚMENES DE TRÁNSITO, PARA OBTENER EL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA), ES NECESARIO DISPONER DEL NÚMERO TOTAL DE VEHÍCULOS QUE PASAN DURANTE EL AÑO POR EL PUNTO DE REFERENCIA, MEDIANTE AFOROS CONTINUOS A LO LARGO DE TODO EL AÑO, YA SEA EN PERIODOS HORARIOS, DIARIOS, SEMANALES O MENSUALES. MUCHAS VECES, ESTA INFORMACIÓN ANUAL ES DIFÍCIL DE OBTENER, AL MENOS EN TODAS LAS VIALIDADES, POR LOS COSTOS QUE ELLO IMPLICA. SIN EMBARGO, SE PUEDE CONSEGUIR DATOS EN LA CASETAS DE COBRO PARA LAS CARRETERAS DE CUOTA Y MEDIANTE CONTADORES AUTOMÁTICOS INSTALADOS EN ESTACIONES MAESTRAS DE LA GRAN MAYORÍA DE LAS CARRETERAS DE LA RED VIAL PRIMARIA DE LA NACIÓN.

EN ESTAS SITUACIONES, MUESTRAS DE LOS DATOS SUJETAS A LAS MISMAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS PERMITEN GENERALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LA POBLACIÓN.

NO OBSTANTE, ANTES DE QUE LOS RESULTADOS SE PUEDAN GENERALIZAR, SE DEBE ANALIZAR LA VARIABILIDAD DE LA MUESTRA PARA ASÍ ESTAR SEGUROS, CON CIERTO NIVEL DE CONFIABILIDAD, QUE ÉSTA SE PUEDE APLICAR A OTRO NÚMERO DE CASOS NO INCLUIDOS Y QUE FORMAN PARTE DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN.



POR LO ANTERIOR, EN EL ANÁLISIS DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO, LA MEDIA POBLACIONAL O TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS), SEGÚN LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

DONDE:

A = MÁXIMA DIFERENCIA ENTRE EL TPDA Y EL TPDS

COMO SE OBSERVA, EL VALOR DE A, SUMADO O RESTADO DEL TPDS, DEFINE EL INTERVALO DE CONFIANZA DENTRO DEL CUAL SE ENCUENTRA EL TPDA. PARA UN DETERMINADO NIVEL DE CONFIABILIDAD, EL VALOR DE A ES:

$$A = KE$$

DONDE:

K = NÚMERO DE DESVIACIONES ESTÁNDAR CORRESPONDIENTE AL NIVEL DE CONFIABILIDAD DESEADO.

E = ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA.

ESTADÍSTICAMENTE SE HA DEMOSTRADO QUE LAS MEDIAS DE DIFERENTES MUESTRAS, TOMADAS DE LA MISMA POBLACIÓN, SE DISTRIBUYEN NORMALMENTE ALREDEDOR DE LA MEDIA POBLACIONAL CON UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR EQUIVALENTE AL ERROR ESTÁNDAR. POR LO TANTO TAMBIÉN SE PUEDE EXPRESAR QUE:

$$E = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

DONDE:

s = ESTIMADOR DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR POBLACIONAL (S).



$$\sigma' = \frac{S}{(n)^{1/2}} \left[\frac{(N-n)}{(N-1)} \right]^{1/2}$$

DONDE:

S = DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS VOLÚMENES. DE TRÁNSITO O DESVIACIÓN ESTÁNDAR MUESTRAL.

n = TAMAÑO DE LA MUESTRA EN NÚMERO DE DÍAS DEL AFORO

N = TAMAÑO DE LA POBLACIÓN EN NÚMERO DE DÍAS DEL AÑO.

LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR MUESTRAL, S, SE CALCULA COMO:

$$S = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n-1} \right\}^{1/2}$$

DONDE:

TDI = VOLUMEN DE TRÁNSITO DEL DÍA I.

FINALMENTE LA RELACIÓN ENTRE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL Y SEMANAL ES:

$$\begin{aligned} TPDA &= TPDS \cdot A \\ TPDA &= TPDS \cdot KE \\ TPDA &= TPDS \cdot K' \end{aligned}$$

2.7 VELOCIDAD.

EL TÉRMINO VELOCIDAD SE DEFINE COMO LA RELACIÓN ENTRE EL ESPACIO RECORRIDO Y EL TIEMPO QUE SE TARDA EN RECORRERLO. ES DECIR, PARA UN VEHÍCULO REPRESENTA SU RELACIÓN DE MOVIMIENTO, GENERALMENTE EXPRESADA EN KILÓMETROS POR HORA (KM/HR).



PARA EL CASO DE UNA VELOCIDAD CONSTANTE, ÉSTA SE DEFINE COMO UNA FUNCIÓN LINEAL DE LA DISTANCIA Y EL TIEMPO, EXPRESADA POR LA FÓRMULA:

$$V = \frac{d}{t}$$

DONDE:

V = VELOCIDAD CONSTANTE (KILÓMETROS POR HORA)

D = DISTANCIA RECORRIDA (KILÓMETROS).

T = TIEMPO DE RECORRIDO (HORAS)

LA VELOCIDAD SE HA MANIFESTADO SIEMPRE COMO UNA RESPUESTA AL DESEO DEL HUMANO DE COMUNICARSE RÁPIDAMENTE DESDE EL MOMENTO EN QUE ÉL MISMO INVENTÓ LOS MEDIOS DE TRANSPORTE. EN ESTE SENTIDO, LA VELOCIDAD SE HA CONVERTIDO EN UNO DE LOS PRINCIPALES INDICADORES UTILIZADO PARA MEDIR LA CALIDAD DE OPERACIÓN A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE. A SU VEZ, LOS CONDUCTORES, CONSIDERADOS DE UNA MANERA INDIVIDUAL, MIDEN PARCIALMENTE LA CALIDAD DE SU VIAJE POR SU HABILIDAD Y LIBERTAD EN CONSERVAR UNIFORMEMENTE LA VELOCIDAD DESEADA. SE SABE ADEMÁS POR EXPERIENCIA QUE EL FACTOR MÁS SIMPLE A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE UNA RUTA ESPECÍFICA PARA IR DE UN ORIGEN A UN DESTINO, CONSISTE EN LA MINIMIZACIÓN DE LAS DEMORAS, LO CUAL OBVIAMENTE SE LOGRARÁ CON UNA VELOCIDAD BUENA Y SOSTENIDA Y QUE OFREZCA SEGURIDAD. ESTA VELOCIDAD ESTÁ BAJO EL CONTROL DEL CONDUCTOR Y SU USO DETERMINARÁ LA DISTANCIA RECORRIDA, EL TIEMPO DE RECORRIDO Y EL AHORRO DE TIEMPO, SEGÚN LA VARIACIÓN DE ÉSTA.

LA IMPORTANCIA DE LA VELOCIDAD, COMO ELEMENTO BÁSICO PARA EL PROYECTO DE UN SISTEMA VIAL, QUEDA ESTABLECIDA POR SER UN PARÁMETRO DE CÁLCULO DE LA MAYORÍA DE LOS DEMÁS ELEMENTOS DEL PROYECTO. FINALMENTE, UN FACTOR QUE HACE QUE A LA VELOCIDAD MUY IMPORTANTE ES EL TRÁNSITO ES QUE LA VELOCIDAD DE LOS VEHÍCULOS ACTUALES HA



SOBREPASADO LOS LÍMITES PARA LOS QUE FUE DISEÑADA LA CARRETERA ACTUAL Y LAS CALLES, POR LO QUE LA MAYOR PARTE DE LOS REGLAMENTOS RESULTAN OBSOLETOS.

LA VELOCIDAD DEBE SER ESTUDIADA, REGULADA Y CONTROLADA CON EL FIN DE QUE ORIGINE UN PERFECTO EQUILIBRIO ENTRE EL USUARIO, EL VEHÍCULO Y LA VÍA, DE TAL MANERA QUE SIEMPRE SE GARANTICE LA SEGURIDAD.

2.8 VELOCIDAD DE PROYECTO.

LLAMADA TAMBIÉN VELOCIDAD DE DISEÑO, ES LA VELOCIDAD MÁXIMA A LA CUAL PUEDEN CIRCULAR LOS VEHÍCULOS CON SEGURIDAD SOBRE UNA SECCIÓN ESPECÍFICA DE UNA VÍA, CUANDO LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y DEL TRÁNSITO SON TAN FAVORABLES QUE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL PROYECTO GOBIERNAN LA CIRCULACIÓN. TODOS AQUELLOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL, VERTICAL Y TRANSVERSAL, TALES COMO LOS RADIOS MÍNIMOS, PENDIENTES MÁXIMAS, DISTANCIAS DE VISIBILIDAD, SOBREELEVACIONES, ANCHOS DE CARRILES Y ACOTAMIENTOS, ANCHURAS Y ALTURAS LIBRES, ETC., DEPENDEN DE LA VELOCIDAD DE PROYECTO Y VARÍAN CON UN CAMBIO DE ÉSTA.

LA SELECCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROYECTO DEPENDE DE LA IMPORTANCIA O CATEGORÍA DE LA FUTURA VÍA, DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO QUE VA A MOVER, DE LA CONFIGURACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA REGIÓN, DEL USO DEL SUELO Y DE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS ECONÓMICOS.

AL PROYECTAR UN TRAMO DE UNA VÍA, ES CONVENIENTE, AUNQUE NO SIEMPRE FACTIBLE, MANTENER UN VALOR CONSTANTE PARA LA VELOCIDAD DE PROYECTO. SIN EMBARGO, LOS CAMBIOS DRÁSTICOS EN CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y SUS LIMITACIONES MISMAS, PUEDEN OBLIGAR A USAR DIFERENTES VELOCIDADES DE PROYECTO PARA DISTINTOS TRAMOS.



EN ESTADOS UNIDOS Y EN EUROPA SE HAN USADO VELOCIDADES DE PROYECTO MÁXIMAS HASTA DE 140 KM/H. SIN EMBARGO, HAY UNA TENDENCIA A REDUCIRLAS A 120 KM/H (EUROPA) Y 112 KM/H (EE.UU.). EN MÉXICO, AL IGUAL QUE EN COLOMBIA, LAS VELOCIDADES DE PROYECTO FLUCTÚAN ENTRE 40 Y 110 KM/H, DEPENDIENDO DEL TIPO DE VÍA SELECCIONADA.

UNA RAZÓN FUNDAMENTAL PARA NO USAR VELOCIDADES DE PROYECTO MUY ALTAS SON LOS PEQUEÑOS AHORROS DE TIEMPO DE VIAJE QUE SE LOGRAN, EN COMPARACIÓN CON LO QUE SUBE EL COSTO DE LA OBRA.

2.9 CAPACIDAD VIAL.

EN LAS FASES DE PLANEACIÓN, ESTUDIO, PROYECTO Y OPERACIÓN DE CARRETERAS Y CALLES, LA DEMANDA DE TRÁNSITO, PRESENTE O FUTURA, SE CONSIDERA COMO UNA CANTIDAD CONOCIDA. UNA MEDIDA DE LA EFICIENCIA CON LA QUE UN SISTEMA VIAL PRESTA SERVICIO A ESTA DEMANDA, ES SU CAPACIDAD U OFERTA.

APARTE DEL ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE LAS CARRETERA Y CALLES, EL PROPÓSITO QUE TAMBIÉN GENERALMENTE SE SIGUE ES EL DE DETERMINAR LA CALIDAD DEL SERVICIO QUE PRESTA CIERTO TRAMO O COMPONENTE DE ARTERIA.

TEÓRICAMENTE LA CAPACIDAD ($Q_{MÁX}$) SE DEFINE COMO LA TASA MÁXIMA DE FLUJO QUE PUEDE SOPORTAR UNA CARRETERA O CALLE. DE MANERA PARTICULAR, LA CAPACIDAD DE UNA INFRAESTRUCTURA VIAL ES EL MÁXIMO NÚMERO DE VEHÍCULOS (PEATONES) QUE PUEDEN PASAR POR UN PUNTO O SECCIÓN UNIFORME DE UN CARRIL O CALZADA DURANTE UN INTERVALO DE TIEMPO DADO, BAJO LAS CONDICIONES PREVALECIENTES DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL, DEL TRÁNSITO Y DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL.



EL INTERVALO DE TIEMPO UTILIZADO EN LA MAYORÍA DE LOS ANÁLISIS DE CAPACIDAD ES DE 15 MINUTOS, DEBIDO A QUE SE CONSIDERA QUE ÉSTE ES EL INTERVALO MÁS CORTO DURANTE EL CUAL PUEDE PRESENTARSE UN FLUJO ESTABLE.

LA INFRAESTRUCTURA VIAL, SEA ÉSTA UNA CARRETERA O CALLE, PUEDE SER DE CIRCULACIÓN CONTINUA O DISCONTINUA. LOS SISTEMAS VIALES DE CIRCULACIÓN CONTINUA NO TIENEN ELEMENTOS FIJOS EXTERNOS AL FLUJO DE TRÁNSITO, TALES COMO LOS SEMÁFOROS, QUE PRODUZCAN INTERRUPCIONES EN EL MISMO. LOS SISTEMAS VIALES DE CIRCULACIÓN DISCONTINUA TIENEN ELEMENTOS FIJOS QUE PRODUCEN INTERRUPCIONES PERIÓDICAS DEL FLUJO DE TRÁNSITO, TALES COMO LOS SEMÁFOROS, LAS SEÑALES DE ALTO Y OTROS DE REGULACIÓN.

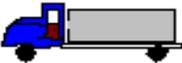
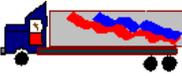
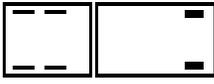
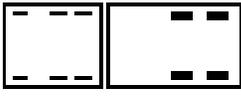
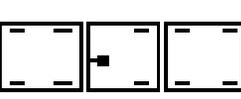
DEPENDIENDO DEL TIPO DE INFRAESTRUCTURA VIAL A ANALIZAR, SE DEBE ESTABLECER UN PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE SU CAPACIDAD.

2.10 CLASIFICACION VEHICULAR

TIPOS DE VEHÍCULOS

LOS VEHÍCULOS SE CLASIFICAN BÁSICAMENTE EN DOS GRUPOS: VEHÍCULOS LIGEROS Y VEHÍCULOS PESADOS.



TIPO DE VEHÍCULO	No DE EJES	ESQUEMAS		SÍMBOLO	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CAMIONES	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE VEHÍCULOS			
		PERFIL	PLANTA						
VEHÍCULOS LIGEROS	AUTOMÓVILES	2			Ap		46	58	
	CAMIONETAS	2			Ac		12		
VEHÍCULOS PESADOS	AUTOBUSES	2			B		12	42	
	CAMIONES	2			C2	73	100		30
		3			C3	13			
					T2-S1				
		4			T2-S2	7			
		5			T3-S2	7			
					T2-S1-R2				



VEHÍCULOS TIPO Y SU CLASIFICACIÓN EN MÉXICO

PARA ESTE CASO SE SOLICITO A LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES EL AFORO ANUAL DETERMINADO PARA LA CARRETERA FEDERAL A ZITACUARO, EN DONDE SE RECOPILO LA SIGUIENTE INFORMACION:

MICHHOACAN

39 CARR: TOLUCA - MORELIA CLAVE: 00448 RUTA: MEX-015 AÑO: 2004

L U G A R	ESTACION		CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO													
	KM	TE SC TDA	A	B	C2	C3	T52	T51	T51B	OTROS	A	B	C	F	D	
T. DER. ALMOLOYA DE JUAREZ	4,70	3 1	15273	81,2	5,6	6,2	2,8	1,8	1,3	0,4	0,7	81	6	13	0,079	0,511
T. DER. ALMOLOYA DE JUAREZ	4,70	3 2	15622	82,8	4,9	5,4	2,2	1,4	1,2	0,5	0,6	83	5	12	0,081	0,511
T. IZQ. VALLE DE BRAVO	7,50	3 1	8330	80,5	3,7	6,5	3,6	1,9	2,2	0,1	1,5	81	4	15	0,118	0,618
T. IZQ. VALLE DE BRAVO	7,50	3 2	8399	80,7	4,1	5,7	4,8	1,9	1,5	0,1	1,2	81	4	15	0,073	0,618
T. DER. VILLA VICTORIA	46,39	1 0	8340	86,3	4,5	4,3	2,0	1,1	0,9	0,2	0,7	86	5	9	0,090	
T. DER. VILLA VICTORIA	46,39	3 0	6820	87,3	4,2	3,2	1,8	1,5	1,0	0,2	0,8	87	4	9	0,098	
T. IZQ. VALLE DE BRAVO	54,40	1 0	6253	76,8	8,8	6,8	3,5	1,6	1,3	0,4	0,8	77	9	14	0,097	
T. IZQ. VALLE DE ALLENDE	64,08	1 0	6856	75,0	8,6	5,5	4,4	3,1	1,8	0,1	1,5	75	9	16	0,082	
T. IZQ. VILLA DE ALLENDE	64,08	3 0	6510	76,4	7,5	6,4	4,4	2,1	1,6	0,4	1,2	76	8	16	0,082	
LIM. EDOS. TERM. MEX. PPIA. MICH.			71,02													
T. DER. LIBRAMIENTO DE HEROICA ZITACUARO (1° ACCESO)	92,80	1 0	9130	74,5	9,9	5,8	4,0	2,4	1,8	0,1	1,5	75	10	15	0,117	
T. DER. ANGANGUEO	106,33	3 0	7442	82,1	3,8	5,1	3,1	1,5	1,7	0,8	1,9	82	4	14	0,084	
T. IZQ. JUNGAPÉO	114,30	3 0	5546	72,5	3,7	11,4	5,5	2,1	2,7	0,1	2,0	73	4	23	0,079	
CD. HIDALGO	144,61	1 0	7884	69,9	10,1	8,8	4,5	2,7	2,3	0,1	1,6	70	10	20	0,078	
T. IZQ. TZITZO	188,30	1 0	760	82,2	7,2	5,8	2,7	1,5	0,1	0,0	0,5	82	7	11	0,090	
PERIFERICO DE MORELIA	241,40	1 0	2787	77,3	8,0	5,6	4,6	1,4	1,0	0,0	2,1	77	8	15	0,095	
MORELIA	246,20															

40 CARR: ZIHUATANEJO - LA MIRA CLAVE: 00121 RUTA: MEX-200 AÑO: 2004

LAS LINEAS DE COLOR ROJO INDICAN EL VOLUMEN DE TRANSITO DETERMINADO EN EL ANUARIO DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES EN EL AÑO DEL 2004. SIENDO ESTOS LOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

PROBLEMAS DE TRÁNSITO Y SU SOLUCIÓN

A PESAR DE QUE EN LOS ÚLTIMOS TIEMPOS CON LOS AVANCES TECNOLÓGICOS SE HAN LOGRADO PROYECTAR Y CONSTRUIR SISTEMAS VIALES MÁS ACORDES CON LOS VEHÍCULOS QUE LOS UTILIZAN, AL IGUAL QUE DISEÑOS URBANOS MODERNISTAS, LOS PROBLEMAS DE TRÁNSITO EN MUCHOS LUGARES



AÚN PERSISTEN. A CONTINUACIÓN SE ENUNCIAN CINCO FACTORES QUE PODRÍAN INCREMENTAR ESTOS PROBLEMAS Y QUE DEBEN DE SER TOMADOS EN CUENTA EN CUALQUIER INTENTO DE SOLUCIONARLOS.

- 1 DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS EN LA MISMA VIALIDAD
DIFERENTES DIMENSIONES, VELOCIDADES Y CARACTERÍSTICAS DE ACELERACIÓN.
AUTOMÓVILES DIVERSOS
CAMIONES Y AUTOBUSES, DE ALTA VELOCIDAD.
CAMIONES PESADOS, DE BAJA VELOCIDAD, INCLUYENDO REMOLQUES.
VEHÍCULOS TIRADOS Ó ANIMALES, QUE AUN SUBSISTEN EN ALGUNOS PAÍSES.
MOTOCICLETAS, BICICLETAS, VEHÍCULOS A MANO, ETC.
- 2 SUPERPOSICIÓN DEL TRÁNSITO MOTORIZADO EN VIALIDADES INADECUADAS
RELATIVAMENTE POCOS CAMBIOS EN EL TRAZO URBANO.
CALLES ANGOSTAS, TORCIDAS Y PRONUNCIADAS PENDIENTES.
ACERAS INSUFICIENTES.
CARRETERAS QUE NO HAN EVOLUCIONADO.
- 3 FALTA DE PLANIFICACIÓN EN EL TRÁNSITO
CALLES, CARRETERAS Y PUENTES QUE SIGUEN CONSTRUYENDO CON ESPECIFICACIONES ANTICUADAS.
INTERSECCIONES PROYECTADAS SIN BASE TÉCNICA.
PREVISIÓN CASI NULA PARA ESTACIONAMIENTO.
LOCALIZACIÓN INAPROPIADA DE ZONAS RESIDENCIALES EN RELACIÓN CON ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES.



- 4 EL AUTOMÓVIL NO CONSIDERADO COMO UNA NECESIDAD PÚBLICA
FALTE DE APRECIACIÓN DE LAS AUTORIDADES SOBRE LA NECESIDAD DEL VEHÍCULO DENTRO DE LA ECONOMÍA DEL TRANSPORTE.
FALTA DE APRECIACIÓN DEL PÚBLICO EN GENERAL A LA IMPORTANCIA DEL VEHÍCULO AUTOMOTOR.
- 5 FALTA DE ASIMILACIÓN POR PARTE DEL GOBIERNO Y DEL USUARIO.
LEGISLACIÓN Y REGLAMENTOS DE TRÁNSITO ANACRÓNICOS QUE ENTIENDEN MÁS A FORZAR AL USUARIO DE LOS MISMOS, QUE ADAPTARSE A LAS NECESIDADES DEL USUARIO.
FALTA DE EDUCACIÓN VIAL DEL CONDUCTOR Y EL PEATÓN.

BASES PARA UNA SOLUCION

DE CUALQUIER MANERA, LA EXPERIENCIA DEMUESTRA QUE EN DETERMINADO TIPO DE SOLUCIÓN DEBERÁN EXISTIR TRES BASES EN QUE SE APOYE LA MISMA. SON LOS TRES ELEMENTOS QUE, TRABAJANDO SIMULTÁNEAMENTE, VAN A DAR LO QUE SE QUIERE: UN TRÁNSITO SEGURO Y EFICIENTE.

ESTOS TRES ELEMENTOS SON LOS SIGUIENTES:

1. LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO.
2. LA EDUCACIÓN VIAL.
3. LA LEGISLACIÓN Y VIGILANCIA POLICÍACA.

AQUEL MEDIO EN QUE LE FALTA ALGUNO DE ESTOS TRES ELEMENTOS, TAMBIÉN LLAMADOS COLUMNAS DEL TEMPLO DE LA SEGURIDAD, NO TENDRÁ UN TRÁNSITO DE ACCIDENTES Y DE CONGESTIONAMIENTOS. ES NECESARIO QUE, CUALQUIERA QUE SEA EL TIPO DE SOLUCIÓN QUE SE ADOPTE, TOME EN CUENTA ESTAS TRES HERRAMIENTAS INDISPENSABLES. ES ESENCIAL QUE UN TÉCNICO ESPECIALIZADO EN INGENIERÍA DE TRÁNSITO RESUELVAN LOS PROBLEMAS DE



PROYECTO FÍSICO DE LA CARRETERA O CALLE CON TODAS SUS DETALLES; QUE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS Y EL GOBIERNO TOMEN POR SU CUENTA LA PREPARACIÓN DEL INDIVIDUO PARA LA ERA MOTORIZADA EN QUE VIVE Y, FINALMENTE QUE LAS AUTORIDADES SEPAN CREAR LEYES Y REGLAMENTOS ADAPTADOS A LAS NECESIDADES DEL TRÁNSITO MODERNO Y QUE LAS HAGAN CUMPLIR POR MEDIO DE AGENTES DE TRÁNSITO ESPECIALMENTE PREPARADOS PARA EL FIN.



CAPITULO 3 ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

3.1. GENERALIDADES ACERCA DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN.

LOS TERRENOS DE CIMENTACIÓN PUEDEN ESTAR CONSTITUIDOS POR ROCA O POR SUELOS. EN GENERAL, LA ROCA NO PLANTEA PROBLEMAS COMO TERRENO DE CIMENTACIÓN PROPIAMENTE DICHO, PUES LA OBRA VIAL LE COMUNICA ESFUERZOS QUE SUELEN SER DE MUY BAJA INTENSIDAD EN COMPARACIÓN CON LA RESISTENCIA DEL MATERIAL.

LAS ROCAS ÍGNEAS POR SU DUREZA, PUEDEN PRESENTAR PROBLEMAS DE COSTO DE EXCAVACIÓN MUY ELEVADO; POR LO GENERAL PERMITEN TALUDES VERTICALES O MUY PRÓXIMOS A LA VERTICAL, CUANDO ESTÁN RAZONABLEMENTE SANAS Y COMO APOYO DE UN PAVIMENTO REQUIEREN DE LA COLOCACIÓN DE UNA CAPA DE SUELO INTERMEDIO EN LOS CORTES, PARA ELIMINAR LAS IRREGULARIDADES QUE PUEDAN TRAS EL PROCESO DE CONFORMACIÓN.

EN LAS ROCAS SEDIMENTARIAS ES FRECUENTE UNA DUREZA MUCHO MENOR QUE EN LAS ÍGNEAS, LO QUE SE TRADUCE EN UNA MAYOR FACILIDAD DE EXCAVACIÓN; EN ESTE GRUPO ABUNDAN LAS ROCAS DELEZNABLES, ESPECIALMENTE LAS DE ESTRUCTURA AGLOMERADA (CALIZAS), ENTRE LAS QUE SE ENCUENTRAN TODOS LOS TIPOS DE COMPORTAMIENTO, PUES MIENTRAS LAS DE GRANO FINO SON DURAS Y PERMANENTES, LAS DE GRANO GRUESO SON BLANDAS Y DELEZNABLES. LAS LUTITAS Y LAS MARGAS SUELEN SER RELATIVAMENTE FÁCILES DE EXCAVAR, CON FRECUENCIA SON POCO ESTABLES ANTE EL AGUA; AL IGUAL QUE LOS YESOS Y ROCAS SIMILARES, PUEDEN SER EXPANSIVAS AL ABSORBER AGUA Y ESTO LAS HACE PELIGROSAS EN LOS LECHOS DE LOS CORTES Y COMO MATERIALES DE RELLENO EN MUROS DE RETENCIÓN, CONVIENE HACER NOTAR QUE LAS AGUAS QUE HAN FLUIDO A TRAVÉS DE ROCAS MARGOSAS, YESOS O ANHIDRITAS PUEDEN SER MUY PELIGROSAS, PUES EN SU



RECORRIDO SE CARGAN DE SALES CÁLCICAS QUE PUEDEN DESCOMPONER EL CEMENTO DE LOS CONCRETOS UTILIZADOS EN LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS DE LA OBRA VIAL.

LOS ESQUISTOS Y LAS PIZARRAS SON QUIZÁ LAS ROCAS METAMÓRFICAS MÁS FRECUENTES EN LA TECNOLOGÍA DE LAS VÍAS TERRESTRES; SON FÁCILES DE EXCAVAR, HASTA EL GRADO DE QUE MUCHAS VECES NO REQUIEREN EXPLOSIVOS Y BASTAN LOS MEDIOS MECÁNICOS PARA SU EXTRACCIÓN. AL TENER PLANOS DE FOLIACIÓN MUY MARCADOS EN LA MAYOR PARTE DE LOS CASOS, ESTAS ROCAS ROMPEN A LO LARGO DE ELLOS, POR LO QUE SU ECHADO ES MUY IMPORTANTE CUANDO APARECEN EN CORTES Y LADERAS. SON ROCAS BASTANTE DELEZNABLES Y COMO PRODUCTO DE ALTERACIÓN FINAL PRODUCEN, ARCILLAS MUY INESTABLES, A VECES EN TIEMPOS DENTRO DE LA VIDA ÚTIL DE LA OBRA.

LOS TERRENOS DE CIMENTACIÓN CONSTITUIDOS POR SUELOS TAMBIÉN SUELEN PROPORCIONAR APOYO SUFICIENTE PARA LAS VÍAS TERRESTRES, AUNQUE EXISTEN ALGUNAS CONDICIONES QUE PLANTEAN GRANDES PROBLEMAS DE PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN.

LOS SUELOS FRICCIONANTES (GRAVAS, ARENAS Y LIMOS NO PLÁSTICOS O LAS MEZCLAS EN QUE ELLOS PREDOMINAN) POR LO GENERAL TIENEN CAPACIDAD DE CARGA SUFICIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD QUE NO PROVOCAN PROBLEMAS DE ASENTAMIENTOS DE IMPORTANCIA.

LAS ARENAS O LIMOS MUY SUELTOS PUEDEN PLANTEAR PROBLEMAS DE EROSIÓN Y DE ASENTAMIENTO BRUSCO, POR COLAPSO RÁPIDO DE SU ESTRUCTURA SIMPLE, CUANDO ESTÁ SOMETIDA A CARGAS DE ALGUNA IMPORTANCIA; ESTOS COLAPSOS SUELEN ESTAR ASOCIADOS A MOVIMIENTOS EN EL AGUA DEL SUBSUELO, SEA SATURACIÓN POR FLUJO DE AGUA QUE SE INFILTRÉ DE LA SUPERFICIE O ASCENSOS DEL NIVEL FREÁTICO POR CUALQUIER RAZÓN. SIN EMBARGO, ESTE EFECTO NO ES MUY IMPORTANTE BAJO LAS TERRACERÍAS, PUES



ESTÁS ABSORBEN CON FACILIDAD LOS MOVIMIENTOS RESULTANTES; NATURALMENTE QUE EL EFECTO ANTERIOR ES MUCHO MÁS PELIGROSO CUANDO EL TERRENO DE CIMENTACIÓN SOPORTA UNA DE LAS ESTRUCTURAS RÍGIDAS QUE SUELEN CONSTRUIRSE EN UNA VÍA TERRESTRE.

EN OCASIONES, LAS FUERZAS HIDRODINÁMICAS PRODUCIDAS POR UN FLUJO ASCENDENTE DEL AGUA, AL VENCER EL PESO DE LAS PARTÍCULAS, PROVOCAN EFECTOS DE BOYANCIA QUE HACEN QUE EL SUELO PIERDA TOTAL O CASI TOTALMENTE SU CAPACIDAD DE CARGA.

OTRO EFECTO DEL FLUJO DEL AGUA EN EL TERRENO DE CIMENTACIÓN ES LA TUBIFICACIÓN, PRODUCIDA CUANDO EL AGUA SE INFILTRA A TRAVÉS DEL SUELO DE CIMENTACIÓN CON SU GRADIENTE HIDRÁULICO SUPERIOR AL CRÍTICO, DE MANERA QUE HAYA ARRASTRE DE PARTÍCULAS. LA CONDICIÓN DE TUBIFICACIÓN NO ES MUY PELIGROSA EN EL TERRENO DE CIMENTACIÓN DE TERRACERÍAS, PUEDE AFECTAR MÁS BIEN A LOS TERRAPLENES, SIENDO UN FACTOR QUE SE DEBE CONSIDERAR EN SU ESTABILIDAD, PERO PUDIERA PRESENTARSE EN OCASIONES, POR EJEMPLO AL BROTAR EL AGUA EN UN TERRAPLÉN, CUANDO EXISTA UN EMBALSE EN EL OTRO LADO. LOS SUELOS MÁS SUSCEPTIBLES A LA TUBIFICACIÓN SON LOS FRICCIONANTES FINOS, PERMEABLES, SIN CEMENTACIÓN, CON ÍNDICE PLÁSTICOS MENOR DEL 10%; LOS SUELOS QUE ADEMÁS DE CUMPLIR LOS REQUISITOS ANTERIORES SON LIGEROS (ARENAS PUMÍTICAS, POR EJEMPLO) RESULTAN PARTICULARMENTE POR EL FLUJO DEL AGUA. EN LA TABLA 7 SE DETALLA LA SUSCEPTIBILIDAD A LA TUBIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS SUELOS:



<p>GRAN RESISTENCIA A LA TUBIFICACIÓN</p>	<p>ARCILLAS MUY PLÁSTICAS (IP > 15%), BIEN COMPACTADAS. ARCILLAS MUY PLÁSTICAS (IP > 15%), DEFICIENTEMENTE COMPACTADAS.</p>
<p>RESISTENCIA MEDIA A LA TUBIFICACIÓN</p>	<p>ARENAS BIEN GRADUADAS O MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA, CON CONTENIDO DE ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA (IP > 6%), BIEN COMPACTADAS. ARENAS BIEN GRADUADAS O MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA, CON CONTENIDO DE ARCILLA DE PLASTICIDAD MEDIA (IP > 6%), DEFICIENTEMENTE COMPACTADAS. MEZCLAS NO PLÁSTICAS, BIEN GRADUADAS Y BIEN COMPACTADAS, DE GRAVA, ARENA Y LIMO CON IP < 6%.</p>
<p>BAJA RESISTENCIA A LA TUBIFICACIÓN</p>	<p>MEZCLAS NO PLÁSTICAS, BIEN GRADUADAS Y DEFICIENTEMENTE COMPACTADAS, DE GRAVA, ARENA Y LIMO CON IP < 6%. ARENAS LIMPIAS, FINAS, UNIFORMES (IP < 6%), BIEN COMPACTADAS. ARENAS LIMPIAS, FINAS, UNIFORMES (IP < 6%) DEFICIENTEMENTE COMPACTADAS.</p>

TABLA 3.1 SUSCEPTIBILIDAD DE LOS SUELDOS A LA TUBIFICACION

LA TUBIFICACIÓN DE LOS TERRENOS DE CIMENTACIÓN ES MÁS FRECUENTE CUANDO EN ESTOS HAY ESTRATIFICACIÓN ERRÁTICA, CON MANTOS PERMEABLES, SUSCEPTIBLES DE ACELERAR EL FENÓMENO.

LOS FILTROS GRADUADOS CONSTITUYEN EL MEJOR MEDIO DE EVITAR EL FENÓMENO DE LA TUBIFICACIÓN EN EL TERRENO DE CIMENTACIÓN, AUNQUE POR RAZONES DE COSTO SU USO DEBE DE ESTAR LIMITADO EN LA TECNOLOGÍA DE LA VÍAS TERRESTRES A AQUELLOS LUGARES EN EL QUE EL RIESGO DE TUBIFICACIÓN



ESTÉ COMPROBADO Y EN QUE EL FENÓMENO PUEDA SER DE GRAVES CONSECUENCIAS.

LA LICUACIÓN HA PRODUCIDO LAS FALLAS MÁS DRAMÁTICAS Y ESPECTACULARES, DEBIDO A LA MAGNITUD DE LA MASA DE SUELO QUE SE PONE EN JUEGO AL PRODUCIRSE ESTE FENÓMENO. EN SUELOS TALES COMO ARENAS SATURADAS RELATIVAMENTE SUELTAS, ES POSIBLE QUE UNA SOLICITACIÓN DINÁMICA, RÁPIDA, CON LA QUE PUEDE PRESENTARSE DURANTE UN SISMO, ORIGINE EN EL AGUA ELEVADAS PRESIONES QUE CRECEN A UN RITMO MAYOR DE LOS QUE ALCANZAN A DISIPARSE POR LA SALIDA DEL AGUA DE LOS POROS DE LA ESTRUCTURA DEL MATERIAL. AL INCREMENTARSE LA PRESIONES DEL AGUA INTERIOR, SE DEBILITA EL CONTACTO ENTRE LOS GRANOS DE LA ARENA, DISMINUYENDO SU RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE HASTA VALORES NULOS O MUY PRÓXIMOS A CERO; EN ESTAS CONDICIONES LA MASA DE ARENA SE COMPORTA COMO UN LÍQUIDO, FLUYENDO BAJO LA ACCIÓN DE LAS CARGAS QUE PROVOCAN EL FENÓMENO.

LOS SUELOS SUSCEPTIBLES A LA LICUACIÓN SON LAS ARENAS SUELTAS (PUES EN ESTAS LA DEFORMACIÓN TIENDE A COMPACTAR LA ESTRUCTURA, TRANSMITIÉNDOSE AL AGUA LAS PRESIONES QUE GENERAN EL FENÓMENO), UNIFORMES, FINAS (EN ELLAS SE REDUCE SU PERMEABILIDAD, IMPIDIENDO LA DISIPACIÓN DE PRESIONES EN EL AGUA) Y SATURADOS; LOS DEPÓSITOS DE LIMOS NO PLÁSTICOS SUELTOS SON PARTICULARMENTE PELIGROSOS.

EL ÚNICO MEDIO QUE PARECE SEGURO PARA IMPEDIR LA LICUACIÓN CONSISTE EN COMPACTAR LOS TERRENOS SUSCEPTIBLES, UTILIZANDO PARA ELLO CUALQUIERA DE LOS PROCEDIMIENTOS USUALES EN LA ACTUALIDAD. EN TERRENOS DE CIMENTACIÓN CONSTITUIDOS POR LIMOS PLÁSTICOS Y ARCILLAS, DEBEN DISTINGUIRSE DOS CASOS DIFERENTES: CUANDO SU COMPRESIBILIDAD SEA RELATIVAMENTE BAJA (SUELOS CL, ML Y OL) Y CUANDO SEAN FRANCAMENTE COMPRESIBLES (SUELOS CH, MH, OH Y P_T).



EN SUELOS DE COMPRESIBILIDAD RELATIVAMENTE BAJA NO SE PLANTEAN PROBLEMAS ESPECIALES A LA SUPERESTRUCTURA DE LA OBRA VIAL; LOS PEQUEÑOS ASENTAMIENTOS QUE PUEDEN LLEGAR A PRODUCIRSE SON ABSORBIDOS FÁCILMENTE POR LA FLEXIBILIDAD PROPIA DE DICHA SUPERESTRUCTURA Y LA CAPACIDAD DE CARGA DEL TERRENO SUELE SER SUFICIENTE PARA SOPORTAR A LOS TERRAPLENES QUE HAYAN DE SER CONSTRUIDOS.

LOS MATERIALES OL, DEBIDO AL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA, PUDIERAN NO SER APROPIADOS, EN CASOS EXTREMOS, PARA USARSE COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

LA FALTA DE RESISTENCIA DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN BAJO UN TERRAPLÉN PUEDE PRODUCIR UNA FALLA POR FALTA DE CAPACIDAD DE CARGA, ASOCIADA A UN HUNDIMIENTO BRUSCO Y DESTRUCTIVO DEL TERRAPLÉN, CON BUFAMIENTO DEL TERRENO A AMBOS LADOS DE AQUÉL (O A UN SÓLO LADO) , NO LEJOS DE LA LÍNEA DE CEROS. LA FALLA PUEDE DARSE SIN PREVIO AVISO, PERO EN OCASIONES SE PRODUCEN CON ANTERIORIDAD DEFORMACIONES EN LA CORONA DEL CAMINO, CON HUNDIMIENTOS EN LA LÍNEA DE CENTRO Y APARICIÓN DE GRIETAS EN EL MATERIAL NATURAL, PARALELAS AL BORDO Y A UNA DISTANCIA QUE ES FUNCIÓN DE LA ALTURA Y EL ANCHO DEL TERRAPLÉN; ESTAS GRIETAS SUELEN IR ACOMPAÑADAS DE UN PERCEPTIBLE BUFAMIENTO DEL TERRENO NATURAL. AL DETECTAR ESTOS SIGNOS PRECURSORES DE UNA FALLA INEVITABLE SE DEBE PROCEDER DE INMEDIATO AL REMEDIO DEL MAL, YA SEA EMPLEANDO BERMAS O ALIGERANDO LAS PRESIONES INDUCIDAS POR EL TERRAPLÉN. EN MUCHOS CASOS UNA PREVISIÓN RAZONABLE PODRÁ CONSISTIR EN ADOPTAR UN PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS, EN EL CUAL SE CONSTRUYA PRIMERAMENTE UNA ALTURA PARCIAL DEL TERRAPLÉN, QUE SE IRÁ COMPLETANDO A MEDIDA QUE EL TERRENO DE CIMENTACIÓN DESARROLLE RESISTENCIA AL IRSE CONSOLIDANDO BAJO LA CARGA PREVIA. SUPÓNGASE QUE



SE TRATA DE UN PROCESO DE CONSOLIDACIÓN PRODUCIDO POR UN TERRAPLÉN QUE SE CONSTRUYE SOBRE UN SUELO COMPRESIBLE, NORMALMENTE CONSOLIDADO, CUYA RESISTENCIA INICIAL NO GARANTIZA LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA, POR LO QUE SE DECIDE EXIGIR LA MITAD DE SU ALTURA Y ESPERAR PARA COMPLETARLA A QUE EL SUELO SE HAYA CONSOLIDADO PARCIALMENTE, AUMENTANDO LO SUFICIENTE LA RESISTENCIA INICIAL DEL TERRENO EN ESE PROCESO.

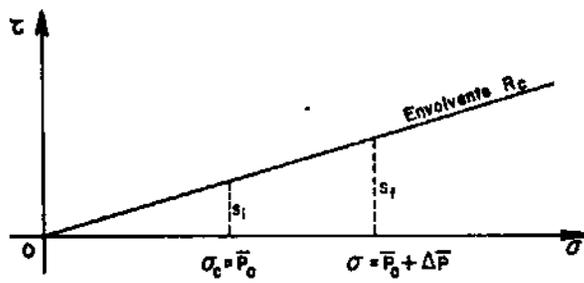


FIG. 3.1 AUMENTO DE LA RESISTENCIA RÁPIDA CON CARGA DE CONSOLIDACIÓN

BAJO CARGA RÁPIDA, SUPUESTO QUE EL TERRAPLÉN SE CONSTRUYE EN POCO TIEMPO, EN COMPARACIÓN CON EL QUE EL SUELO NECESITA PARA CONSOLIDARSE SIGNIFICATIVAMENTE, LA RESISTENCIA DEL SUELO DE CIMENTACIÓN ESTARÁ REPRESENTADA POR LA ENVOLVENTE DE LA PRUEBA RÁPIDA CONSOLIDADA OBTENIDA AL TRABAJAR CON ESFUERZOS TOTALES. ANALIZANDO ESTA ENVOLVENTE (VER FIGURA 3.1) PUEDE VERSE QUE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE (s) ES PROPORCIONAL A LA CARGA CON QUE SE HAYA CONSOLIDADO EL MATERIAL.

EN EL MONTO COMPRESIBLE NORMALMENTE CONSOLIDADO, LA RESISTENCIA BAJO LA CARGA RÁPIDA SERÁ, POR LO TANTO, PROPORCIONAL A LA PROFUNDIDAD. AL CONSTRUIR LA MITAD DEL TERRAPLÉN SE INDUCIRÁ UN PROCESO DE CONSOLIDACIÓN EN EL TERRENO DE CIMENTACIÓN, COMO CONSECUENCIA DEL CUAL SE AUMENTARÁN LAS PRESIONES EFECTIVAS EN TODO

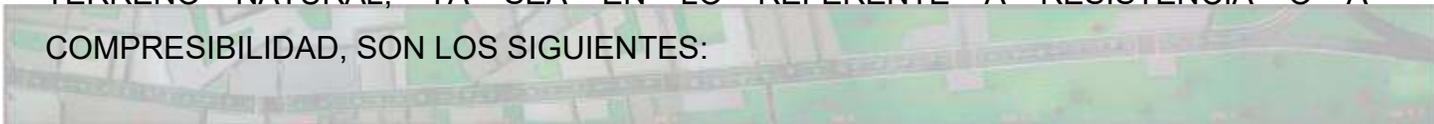


PUNTO DEL MISMO. LA RESISTENCIA FINAL EN CUALQUIER PUNTO DEL SUELO DE CIMENTACIÓN, UNA VEZ LOGRADO EL 100% DE CONSOLIDACIÓN BAJO LA NUEVA CARGA, PUEDE DETERMINARSE A PARTIR DE LAS NUEVAS PRESIONES EFECTIVAS EXISTENTES AL TÉRMINO DEL PROCESO, CALCULABLES CON LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE BOUSSINESQ. ASÍ, SI S_i ES LA RESISTENCIA INICIAL DE UN PUNTO DE LA MASA CONSOLIDADA BAJO LA PRESIÓN EFECTIVA DE SU PESO PROPIO (P_0), LA RESISTENCIA FINAL BAJO CARGA RÁPIDA, S_F , SERÁ LA CORRESPONDIENTE A LA NUEVA PRESIÓN DE CONSOLIDACIÓN, P_0+DP , DONDE DP REPRESENTA EL INCREMENTO DE PRESIÓN EFECTIVA QUE HA PRODUCIDO LA MITAD DEL TERRAPLÉN PRIMERAMENTE CONSTRUIDA. DE ESTA MANERA S_F SERÁ LA RESISTENCIA CON QUE PUEDA CONTARSE AL INICIAR LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA MITAD DEL TERRAPLÉN, SI EL TERRENO NATURAL HA ALCANZADO EL 100% DE CONSOLIDACIÓN BAJO LA PRIMERA MITAD; LA RESISTENCIA CORRESPONDIENTE A UN PORCENTAJE DE CONSOLIDACIÓN COMPRENDIDO ENTRE 0% Y 100% TENDRÁ UN VALOR TAMBIÉN COMPRENDIDO ENTRE S_i Y S_F , QUE PODRÁ OBTENERSE POR INTERPOLACIÓN LINEAL, SEGÚN SE DESPRENDE OBVIAMENTE DE LA FIGURA. SI EL SUELO DE CIMENTACIÓN FUESE PRECONSOLIDADO, EL PROBLEMA PODRÍA TRATARSE COMO EL CASO ANTERIOR, PERO INCLUYENDO EN LA ENVOLVENTE R_c EL INTERVALO DE CONSOLIDACIÓN.

OTRO PROBLEMA RELACIONADO CON LOS TERRENOS DE CIMENTACIÓN DE MUY BAJA RESISTENCIA ES EL QUE SE REFIERE A LAS FALLAS DEL TERRAPLÉN PROPIAMENTE DICHO, POR ROTACIÓN O TRASLACIÓN SOBRE SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO DESARROLLADAS TOTAL O PARCIALMENTE EN DICHO TERRENO DE CIMENTACIÓN.

MEJORAMIENTO DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN.

LOS PRINCIPALES MÉTODOS QUE SE HAN SEGUIDO PARA MEJORAR EL TERRENO NATURAL, YA SEA EN LO REFERENTE A RESISTENCIA O A COMPRESIBILIDAD, SON LOS SIGUIENTES:



EL USO DE MATERIALES LIGEROS.

SE TRATA DE CONSEGUIR, DENTRO DE DISTANCIAS DE ACARREO TOLERABLES, BANCOS DE MATERIALES DE BAJO PESO ESPECIFICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TERRAPLENES, A FIN DE LOGRAR ASÍ QUE SE REDUZCAN MÁXIMO TANTO LAS PRESIONES COMUNICADAS AL TERRENO NATURAL COMO LA GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN QUE SE CONSTRUYA, PUES NO DEBE OLVIDARSE QUE EL PROBLEMA DE ASENTAMIENTOS SUELE ESTAR LIGADO AL DE LA FALTA DE RESISTENCIA, DE MODO QUE SI EL TERRAPLÉN SE HACE CON MATERIALES PESADOS REQUERIRÁ TALUDES MUY TENDIDOS, BERMAS, ETC., QUE PODRÁN REDUCIRSE Y QUIZÁ ELIMINARSE CON EL USO DE MATERIALES LIGEROS; SIENDO EL HUNDIMIENTO MENOR A MENOR ANCHO DE TERRAPLÉN, ESTA ÚLTIMA GANANCIA REPERCUTIRÁ FAVORABLEMENTE EN EL ASENTAMIENTO FINAL A QUE SE LLEGUE.

LA SOBREELEVACIÓN DE LA RASANTE.

SE TRATA AHORA DE SOBREELEVAR INICIALMENTE LA RASANTE DEL TERRAPLÉN, DE MANERA QUE QUEDE EN EL NIVEL REQUERIDO DESPUÉS DE PRODUCIRSE EL ASENTAMIENTO. LA EFECTIVIDAD DE LA SOLUCIÓN DEPENDE DE QUE EL TERRENO NATURAL SOPORTE LA SECCIÓN SOBREELEVADA.

CONSTRUCCIÓN PREVIA DE TERRAPLENES.

EN ESTE CASO SE CONSTRUYE EL TERRAPLÉN CON SUFICIENTE ANTICIPACIÓN A LAS OBRAS DE PAVIMENTACIÓN, PERMITIENDO QUE OCURRA EL ASENTAMIENTO DURANTE ESE LAPSO DISPONIBLE; DESPUÉS SE CONFORMARA LA CORONA, PARA PAVIMENTAR UNA ESTRUCTURA QUE YA NO SE DEFORMARÁ. EN OCASIONES, LA FALTA DE RESISTENCIA DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN PUEDE OBLIGAR A COMPLETAR LA SECCIÓN DEFINITIVA POR MEDIO DE SUCESIVOS RECARGUES, APROVECHANDO LA RESISTENCIA QUE SE GENERE COMO



CONSECUENCIA DE LA CONSOLIDACIÓN. NATURALMENTE QUE EL NÚMERO DE RECARGUES NECESARIAMENTE TENDRÁ QUE SER BAJO, Y EL ÚLTIMO TAL, QUE PRODUZCA ASENTAMIENTOS QUE NO SEAN DE SIGNIFICACIÓN. LA SOLUCIÓN ES MUY VENTAJOSA SOBRE TODO EN ACCESOS Y PASOS A DESNIVEL, PERO ESTÁ LIMITADA POR LA DISPONIBILIDAD DE TIEMPO.

EL USO DE DRENES VERTICALES DE ARENA.

SIENDO EL PROCESO DE ASENTAMIENTO UN PROCESO DE CONSOLIDACIÓN, TODOS LOS PROCEDIMIENTOS QUE ACELEREN ESTA ÚLTIMA SERVIRÁN PARA QUE AQUELLOS PRODUZCAN CON MAYOR RAPIDEZ, DANDO OPORTUNIDAD A QUE OCURRAN DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN, CON LO QUE LA ESTRUCTURA PERMANECERÁ PRÁCTICAMENTE LIBRE DEL PROBLEMA DURANTE SU VIDA DE SERVICIO. ADEMÁS, LA ACELERACIÓN DE LA CONSOLIDACIÓN SIRVE TAMBIÉN PARA AUMENTAR LA RAPIDEZ DE GENERACIÓN DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE CONSECUENCIA DEL PROCESO. LOS DRENES VERTICALES DE ARENA SON UN ACELERADOR COMPROBADO DE LOS PROCESOS DE CONSOLIDACIÓN, CUYA INFLUENCIA EN ÉSTOS PUEDE SER ESTABLECIDA TEÓRICAMENTE. SON PERFORACIONES VERTICALES RELLENAS DE MATERIAL PERMEABLE, DE PEQUEÑO DIÁMETRO Y DE LONGITUD SUFICIENTE PARA QUE SUS EFECTOS ALCANCEN A LA TOTALIDAD DEL MANTO COMPRESIBLE O, POR LO MENOS, AL ESPESOR QUE VAYA A PRODUCIR LA MAYOR PARTE DEL ASENTAMIENTO.

SU FUNCIÓN SE EJERCE DISMINUYENDO LA LONGITUD DE LAS TRAYECTORIAS QUE EL AGUA DEBE RECORRER PARA SER DRENADA DE LOS ESTRATOS COMPRESIBLES QUE SE CONSOLIDEN; ESTO SE LOGRA AL PERMITIRSE EL FLUJO EN LA DIRECCIÓN HORIZONTAL, ADEMÁS DEL FLUJO VERTICAL USUAL. COMO LA MAYORÍA DE LOS SUELOS ARCILLOSOS FINOS SON ALGO ESTRATIFICADOS, DE MANERA QUE LA PERMEABILIDAD HORIZONTAL ES MÁS



GRANDE QUE EN LA DIRECCIÓN VERTICAL, EL FLUJO RADIAL HACIA LOS DRENES VERTICALES DE ARENA ES, EN PRINCIPIO, MUY EFICIENTE.

LOS DRENES SE INSTALAN INTRODUCIENDO EN EL TERRENO UN TUBO DE ADEME DEL QUE DESPUÉS SE EXTRAER EL SUELO Y QUE DEBE RECUPERARSE POR RAZONES DE COSTO, EXTRAYÉNDOLO A MEDIDA QUE SE RELLENA DE ARENA EL ESPACIO INTERIOR, O POR MEDIO DE UN MANDRIL O BROCA APROPIADA, QUE HAGA UNA PERFORACIÓN CUYAS PAREDES SE SOSTENGAN AL RETIRAR LA HERRAMIENTA, POR LO MENOS EL TIEMPO NECESARIO PARA RELLENAR EL HUECO CON LA ARENA QUE FUNCIONA COMO MATERIAL DRENANTE. NATURALMENTE QUE EL SEGUNDO MÉTODO SUELE SER DE MENOR COSTO QUE EL PRIMERO, PERO NO SIEMPRE ES APLICABLE, PUES EN SUELOS MUY BLANDOS O TURBOSOS NO SE SOSTIENEN LAS PAREDES DE POZOS RELATIVAMENTE PROFUNDOS. AMBOS MÉTODOS PRODUCEN UN IMPORTANTE REMOLDEO DEL SUELO NATURAL, QUE SE REFLEJA EN SU RESISTENCIA CONJUNTA; ESTA REDUCCIÓN DE RESISTENCIA HA DE SER TOMADA EN CUENTA, YA QUE HAN TENIDO LUGAR ALGUNAS FALLAS IMPORTANTES POR OLVIDARSE DE ELLO, SI BIEN ES CIERTO QUE LA RESISTENCIA SUELE RECUPERARSE ALGUNOS DÍAS O CUANDO MUCHO SEMANAS, DESPUÉS DE INSTALADOS LOS DRENES. EL REMOLDEO DE LOS SUELOS PUEDE EVITARSE EN GRAN PARTE USANDO CHIFLONES, TALADROS O PROCEDIMIENTOS SIMILARES, QUE REALICEN LA EXCAVACIÓN CON MÍNIMO DESPLAZAMIENTO.

INDUDABLEMENTE, LOS DRENES VERTICALES DE ARENA ACELERAN LA SALIDA DEL AGUA DE LOS ESTRATOS COMPRESIBLES, PERO NO DEBEN CONSIDERARSE COMO UNA SOLUCIÓN APROPIADA EN TODOS LOS CASOS; NO DEBEN UTILIZARSE SIN UNA EXPLORACIÓN DE CAMPO ADECUADA Y SIN UN CONOCIMIENTO PRECISO DEL SUBSUELO QUE SE DESEA TRATAR. QUIZÁ EL CASO EN QUE SU EFECTIVIDAD ES MAYOR, ES AQUEL EN QUE EXISTEN EN EL TERRENO LENTES DE MATERIALES ALGO PERMEABLES, QUE SEAN ATRAVESADAS POR LOS DRENES. EN SUELOS ARCILLOSOS HOMOGÉNEOS ES FRECUENTE QUE LOS DRENES VERTICALES AUN CUANDO REDUZCAN LOS TIEMPOS DE CONSOLIDACIÓN,



NO CONDUZCAN A PROCESOS SUFICIENTEMENTE RÁPIDOS COMO PARA JUSTIFICAR SU ALTO COSTO.

ES IMPORTANTE PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS DRENES VERTICALES QUE EL MATERIAL QUE EN ELLOS QUE SE COLOQUE SEA REALMENTE PERMEABLE; A ESTE RESPECTO LA EXPERIENCIA PARECE INDICAR COMO ACONSEJABLE SOBREPASAR INCLUSO LAS NORMAS USUALES PARA MATERIALES DRENANTES O CONSTITUTIVOS DE FILTROS. EN ESPECIAL DEBERÁ CUIDARSE QUE SEA MUY BAJO EL CONTENIDO DE FINOS MENORES QUE LA MALLA N° 100, PUES ESTOS AFECTAN MUCHO LA PERMEABILIDAD DEL CONJUNTO, AL GRADO DE QUE VARIACIONES DE UN 1% A UN 2% PUEDEN REDUCIR LA PERMEABILIDAD 3 Ó 4 VECES. DE LA MISMA MANERA, DEBE EVITARSE TODA SEGREGACIÓN DENTRO DEL MATERIAL FILTRANTE EN SU COLOCACIÓN EN EL POZO.

LA INSTALACIÓN DE DRENES VERTICALES DE ARENA DEBE COMPLEMENTARSE CON UNA CAPA DRENANTE DE ESPESOR RAZONABLE, QUE CUBRA TODA EL ÁREA TRATADA.

ASÍ SE GARANTIZARÁ SALIDA AL AGUA ACUMULADA EN LOS DRENES VERTICALES Y ADEMÁS SE PROPICIARÁ EL FLUJO VERTICAL DEL AGUA, COMO AYUDA DEL RADIAL. ESA CAPA SUPERIOR DRENANTE NO DEBE SER DE MENOS DE 30 Ó 40 CM DE ESPESOR.

LA SEPARACIÓN QUE SE DÉ A LOS DRENES VERTICALES DE ARENA EN UNA INSTALACIÓN DADA INFLUYE GRANDEMENTE EN LA ACELERACIÓN QUE SE LOGRE EN EL PROCESO DE CONSOLIDACIÓN, QUE ES MUCHO MAYOR CUANTO MÁS PRÓXIMOS SE PONGAN, PERO TAMBIÉN, NATURALMENTE, EN EL COSTO DE LA INSTALACIÓN, QUE CRECE MUCHO CUANDO SE COLOCAN MUY CERCANOS. TAMBIÉN EL DIÁMETRO DE LOS POZOS TIENE IMPORTANCIA, AUNQUE EN MENOR GRADO.



EL PODER ESTABLECER POR CÁLCULO LA EVOLUCIÓN DE LA CONSOLIDACIÓN EN UNA INSTALACIÓN DE DRENES VERTICALES DEPENDE MUCHO DE LA PRECISIÓN QUE SE LOGRE EN LA DETERMINACIÓN DE LAS PERMEABILIDADES, VERTICAL Y RADIAL. LA PERMEABILIDAD VERTICAL PUEDE MEDIRSE EN EL LABORATORIO, USANDO LOS MÉTODOS PARA SUELOS ESTRATIFICADOS; PERO LA PERMEABILIDAD RADIAL SE MIDE MEJOR CON PRUEBAS DE CAMPO, POR LO CUAL SE PUEDEN USAR LOS POZOS DE INSTALACIÓN PIEZOMÉTRICOS, QUE TENDRÁN QUE EXISTIR OBLIGATORIAMENTE EN TODA INSTALACIÓN IMPORTANTE DE DRENES VERTICALES DE ARENA.

NO SE HA ESTUDIADO SUFICIENTEMENTE EL EFECTO QUE LOS DRENES VERTICALES DE ARENA PUDIERAN TENER SOBRE LA RESISTENCIA DEL ESTRATO COMPRESIBLE, POR EJEMPLO AL DESLIZAMIENTO, AL ACTUAR COMO VERDADEROS PILOTES DE ARENA.

EL USO DE LOS DRENES VERTICALES DE ARENA SUELE SER COSTOSO, SOBRE TODO EN PAÍSES EN QUE NO EXISTA LA MAQUINARIA ESPECIALIZADA PARA SU CONSTRUCCIÓN CON QUE ES POSIBLE CONTAR EN LA ACTUALIDAD; POR CONSIGUIENTE, SU UTILIZACIÓN NO PUEDE RECOMENDARSE SIN UN CUIDADOSO ESTUDIO DE SU IDONEIDAD Y UNA COMPLETA CONSIDERACIÓN.

LA COMPENSACIÓN TOTAL O PARCIAL DE LA CARGA DE TERRAPLÉN. SI SE LOGRA POR ALGÚN PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN ADECUADO QUE AL PENETRAR EL MATERIAL DEL TERRAPLÉN DESPLACE LATERALMENTE AL SUELO DE CIMENTACIÓN BLANDO, SE PRODUCIRÁ UNA COMPENSACIÓN DEL PESO DE AQUÉL, QUE ACTUARÁ ÚNICAMENTE CON UNA PRESIÓN CORRESPONDIENTE A LA DIFERENCIA ENTRE EL PESO DEL MATERIAL COLOCADO Y EL DESPLAZADO. EL MÉTODO ES MÁS FACTIBLE CUANDO MÁS FÁCIL SEA DE DESPLAZAR LATERALMENTE EL TERRENO NATURAL, POR LO QUE RINDE SUS MEJORES RESULTADOS EN SUELOS ARCILLOSOS ORGÁNICOS O EN TURBAS.



EN OCASIONES EL DESPLAZAMIENTO DEL TERRENO NATURAL SE AYUDA CON SOBRECARGAS, EXPLOSIVOS, ETC. EN EL CASO PARTICULAR DE LAS AEROPISTAS, ESTRUCTURAS DE LONGITUD MÁS LIMITADA QUE UNA CARRETERA, SE HA USADO UN PROCEDIMIENTO DE AUTÉNTICA COMPENSACIÓN COMPLETA, PREECAVANDO UNA CAJA DE PROFUNDIDAD SUFICIENTE, LA QUE SE CONFORMA ESTRUCTURALMENTE CONSTRUYENDO EN SU FONDO UNA LOSA DELGADA DE CONCRETO POBRE Y SE RELLENA POSTERIORMENTE CON MATERIALES LIGEROS, PARA PRODUCIR UNA COMPENSACIÓN TOTAL.

EN CARRETERAS, EL INCONVENIENTE DEL PROCEDIMIENTO ESTRIBA EN LA GRAN CANTIDAD DE MATERIAL QUE PUEDE LLEGAR A INCRUSTARSE EN EL MATERIAL NATURAL ANTES DE LOGRAR UNA COMPENSACIÓN EFECTIVA.

LA REMOCIÓN DEL MATERIAL COMPRESIBLE.

EN ESTE CASO SE UTILIZA UNA IDEA TAN SENCILLA COMO ÉSTA: SI EL TERRENO DE CIMENTACIÓN ES MALO Y COMPRESIBLE, REMUÉVASELE Y PÓNGASE EN SU LUGAR OTRO DE MEJOR CALIDAD. EL DEPARTAMENTO DE CARRETERAS DEL ESTADO DE CALIFORNIA CONSIDERA QUE ÉSTA ES LA MEJOR SOLUCIÓN EN SUELOS MUY BLANDOS Y COMPRESIBLES, QUE SE PRESENTAN BAJO LOS TERRAPLENES EN ESPESORES NO MAYORES QUE 4 Ó 5 M, AÑADIENDO QUE EL MATERIAL SUBSTITUIDO DEBE SER GRANULAR CUANDO NO ESTÉ GARANTIZADO SU DRENAJE. ESTA NORMA RESULTA QUIZÁ EXAGERADA PARA PAÍSES QUE DISPONEN DE MENORES PRESUPUESTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA OBRA DADA; EN MÉXICO, POR EJEMPLO, SE HA UTILIZADO POCO LA SUBSTITUCIÓN DE TERRENOS MALOS POR SUELOS ESTABLES BAJO TERRAPLENES Y LA EXPERIENCIA INDICA QUE CUANDO EL ESPESOR DEL TERRENO NATURAL ES INFERIOR A 4 Ó 5 M ES POSIBLE OBTENER UN COMPORTAMIENTO FAVORABLE A MENOR COSTO CON EL EMPLEO DE ALGÚN OTRO DE LOS MÉTODOS DESCRITOS. CUANDO EL ESPESOR DEL TERRENO MALO ES SUPERIOR A 4 Ó 5 M, ES UNIVERSALMENTE RECONOCIDO QUE EL COSTO DE LA SUBSTITUCIÓN DE MATERIALES SE HACE PROHIBITIVO. EN



RESUMEN, LA SUBSTITUCIÓN DE MATERIALES DEBE VERSE COMO UNA ALTERNATIVA MÁS A DISPOSICIÓN DEL INGENIERO, QUE PODRÁ SOPESARSE PARA SER EMPLEADA SÓLO CUANDO RESULTE SER LA MÁS ECONÓMICA O CONVENIENTE DESPUÉS DE UN CUIDADOSO BALANCE.

TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DEL TERRENO COMPRESIBLE.

AUN CUANDO ESTAS TÉCNICAS ESTÁN TODAVÍA EN SUS COMIENZOS, SE SABE QUE AL AÑADIR CIERTAS SUBSTANCIAS AL SUELO SE PRODUCEN EN ÉSTE INTERCAMBIOS IÓNICOS ENTRE SUS PARTÍCULAS MINERALES Y LAS MATERIAS DISUELTAS EN EL AGUA INTERSTICIAL, DE MANERA QUE SE MODIFICAN LOS NEXOS ESTRUCTURALES, MEJORANDO LA RESISTENCIA DEL SUELO Y DISMINUYENDO SU COMPRESIBILIDAD. EN CADA CASO SE HARÁ NECESARIO UN ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO, A FIN DE DEFINIR LA SUBSTANCIA O SUBSTANCIAS QUE PRODUCIRÁN LOS EFECTOS MÁS FAVORABLES; ÉSTAS PUEDEN INCORPORARSE AL SUELO HACIÉNDOLAS CIRCULAR POR SU INTERIOR DISUELTAS EN AGUA. EN MÉXICO SE HAN REALIZADO DIVERSOS ESTUDIOS PARA LA APLICACIÓN DE ESTAS TÉCNICAS, PERO NUNCA HAN LLEGADO A USARSE EN LAS OBRAS, DEBIDO A SU ALTO COSTO.

CALCINACIÓN DEL SUELO.

CONSISTE ESTE MÉTODO EN CALCINAR LATERALMENTE HABLANDO LA ESTRUCTURA DEL SUELO, CON ELEVADAS TEMPERATURAS PROVENIENTES DE LA COMBUSTIÓN DE GASES. EN ALGUNOS CASOS SE HAN REPORTADO DISMINUCIONES NOTABLES DE LA COMPRESIBILIDAD Y, POR CONSIGUIENTE, DE LOS ASENTAMIENTOS. EL MÉTODO DEBE CONSIDERARSE EN ETAPA EXPERIMENTAL.



COLOCACIÓN DE ENTRAMADOS DE RAMAS, PALMAS Y OTROS MATERIALES SIMILARES BAJO EL TERRAPLÉN.

CONSISTE ESTE MÉTODO EN FABRICAR UNA VERDADERA Balsa de Enramado bajo el terraplén, que reparte la carga y proporciona una especie de flotación al conjunto de la superestructura. El método se ha usado con excelentes resultados en diversos países, pero en México se carece de una experiencia concluyente al respecto.

LA COLOCACIÓN DE BERMAS O EL USO DE TALUDES MUY TENDIDOS.

CON ELLO SE LOGRA UNIFORMIZAR LAS PRESIONES TRANSMITIDAS AL TERRENO BAJO EL TERRAPLÉN, CON LO QUE SE UNIFORMIZAN TAMBIÉN LOS ASENTAMIENTOS, REDUCIENDO LOS DIFERENCIALES. POR OTRA PARTE, CONVIENE NO OLVIDAR QUE EL ASENTAMIENTO TOTAL ES MAYOR CUANTO MAYOR ES EL ANCHO DEL ÁREA CARGADA, POR LO QUE LAS MEDIDAS OBJETO DE ESTE APARTO TENDERÁN A HACER CRECER DICHS ASENTAMIENTOS TOTALES; NATURALMENTE, LA BONDAD DE ESTAS MEDIDAS ESTARÁ SUPEDITADA AL BALANCE DE ESTOS FACTORES CONTRADICTORIOS. ESTOS MÉTODOS CARECERÁN DE SENTIDO EN AEROPISTAS, DONDE LAS CORONAS DE LOS TERRAPLENES SON MUY ANCHAS EN COMPARACIÓN CON LAS DE LAS CARRETERAS.

ESCALONAMIENTO DE LADERAS NATURALES.

EN TERRENOS NATURALES CON PENDIENTE TRANSVERSAL FUERTE EXISTE EL PELIGRO DE QUE LOS TERRAPLENES SE DESLICEN LADERA ABAJO, AÚN CUANDO LOS MATERIALES INVOLUCRADOS NO SEAN DEMASIADO MALOS. EL ESCALONAMIENTO DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN EN FORMA APROPIADA A LA GEOMETRÍA DEL TERRAPLÉN Y A LA TOPOGRAFÍA DE LA ZONA ES QUIZÁ EL MÉTODO QUE MÁS SE HA USADO EN MÉXICO PARA COMBATIR ESTE TIPO DE



PROBLEMAS. LOS ESCALONES, DE HUELLA HORIZONTAL Y PERALTE VERTICAL, PROPORCIONAN AL TERRAPLÉN APOYO HORIZONTAL, ELIMINANDO LA COMPONENTE DE SU PESO A LO LARGO DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO CON EL TERRENO NATURAL Y, POR LO TANTO, LA CAUSA DE LA POSIBLE FALLA. LOS ESCALONES DEBEN TENER PERALTE APROPIADO Y HUELLA SUFICIENTE PARA LAS MANIOBRAS DEL EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN. EL PROYECTO DEBERÁ INDICAR AL DETALLE LA FORMA Y LAS DIMENSIONES DE LOS ESCALONES, SIENDO DESEABLE QUE TODA SECCIÓN SE ALOJE EN TERRENO FIRME.

CONSTRUCCIÓN DE RELLENOS SOBRE APOYO IRREGULAR EN ROCA.

AL HACER CORTES EN ROCA ES MUY COMÚN QUE, COMO CONSECUENCIA DEL PROCESO DE EXCAVACIÓN CON EXPLOSIVOS, LA CAMA DEL CAMINO QUEDE RÍSPIDA Y LLENA DE ARISTAS IRREGULARES Y AGUDAS. EN ESTE CASO HA DE COLOCARSE ENTRE ESA ROCA Y EL PAVIMENTO UNA CAPA DE SUELO DEL SUFICIENTE ESPESOR Y APROPIADA RESISTENCIA, PARA IMPEDIR QUE LAS IRREGULARIDADES SEÑALADAS SE REFLEJEN EN EL PROPIO PAVIMENTO. ESTE ES UN CASO ILUSTRATIVO DE AQUELLOS EN QUE EL MEJORAMIENTO DEL TERRENO CONSISTE EN LA SUBSTITUCIÓN DE UN APOYO MUY FIRME POR OTRO DE SUELO, APARENTEMENTE DE PEOR CALIDAD. LA LECCIÓN QUE SE EXTRAE DE ESTO ES QUE LOS PROBLEMAS DE INTERACCIÓN ENTRE SUPERESTRUCTURA Y TERRENO DE CIMENTACIÓN EN UNA OBRA VIAL SON TAN COMPLEJOS QUE CON FRECUENCIA LA NORMA DE MEJORAMIENTO ADOPTADA ES CONTRADICTORIA, EN EL SENTIDO DE QUE RESULTA DESVENTAJOSA DESDE UNO O VARIOS DE LOS PUNTOS DE VISTA QUE INTERVIENEN; LO IMPORTANTE ES ENTONCES RESALTAR EL ASPECTO FUNDAMENTAL QUE SE PRETENDE MEJORAR, BALANCEANDO CONVENIENTEMENTE LAS VIRTUDES Y DEFECTOS DE LA NORMA DE MEJORAMIENTO ADOPTADA.



COMPACTACIÓN.

FRECUENTEMENTE SE MEJORA LA PARTE SUPERIOR DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN CON UN PROCESO DE COMPACTACIÓN POSTERIOR AL DESMONTE, DESHIERBE Y DESENRAIZADO; EL TRATAMIENTO ES FRECUENTE SOBRE TODO EN AEROPISTAS Y SUELE SER SOMERO, ALCANZANDO 85 A 90%, EN RELACIÓN A CUALQUIER ESTÁNDAR USUAL.

ANCLAJE DE BLOQUES DE ROCA FRACTURADA.

EN LADERAS ROCOSAS INCLINADAS Y CUANDO LOS PLANOS DE FRACTURAMIENTO SON DESFAVORABLES A LA OBRA VIAL, SE HA RECURRIDO AL ANCLAJE DE LOS BLOQUES DE ROCA CON VARILLAS DE ACERO INTRODUCIDAS EN PERFORACIONES PREVIAS SELLADAS POSTERIORMENTE CON CONCRETO O LECHADA DE CEMENTO, DE MODO QUE LITERALMENTE SE COSEN LOS FRAGMENTOS CUYA SITUACIÓN SEA PELIGROSA.

RELLENO DE GRIETAS.

CON FRECUENCIA LA SUPERFICIE DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN APARECE AGRIETADA. CUANDO ELLA SUCEDA, LA CAUSA DEL AGRIETAMIENTO DEBERÁ INVESTIGARSE SIEMPRE, PUES EL FENÓMENO PUEDE SER INDICIO TANTO DE LA EXISTENCIA DE UN ESTADO DE FALLA INCIPIENTE RELATIVAMENTE FÁCIL DE CORREGIR, POR EJEMPLO EN UNA LADERA INCLINADA, COMO DE UN VERDADERO ESTADO DE DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL GENERALIZADO O DE UN ESTADO DE TENSIÓN IMPORTANTE.

LA CAUSA DEL AGRIETAMIENTO DEBERÁ SER ELIMINADA COMO UN REQUISITO INDISPENSABLE PARA LA CORRECCIÓN DEL AGRIETAMIENTO. PODRÁ HABER CASOS EN QUE EL CAMBIO DE TRAZOS CONSTITUYA LA MEJOR SOLUCIÓN, PUES COMO SE HA DICHO, EL AGRIETAMIENTO PUEDE ESTAR ASOCIADO A FENÓMENOS DE GRAN ESCALA Y CORRECCIÓN DIFICILÍSIMA Y MUY COSTOSA;



PERO EN LOS CASOS SENCILLOS, UNA VEZ ELIMINADA LA CAUSA DEL AGRIETAMIENTO PUEDE RESULTAR MUY CONVENIENTE RELLENAR LAS GRIETAS PREVIAMENTE FORMADAS CON ARCILLA, SUELO-ASFALTO O ALGÚN MATERIAL SIMILAR, CON CARACTERÍSTICAS PLÁSTICAS. LAS GRIETAS ABIERTAS PUEDEN SER PELIGROSAS, PUES AL RELLENARSE DE AGUA GENERAN EMPUJES HIDROSTÁTICOS QUE PUEDEN AGRAVAR CUALQUIER TENDENCIA A LA INESTABILIDAD PREEXISTENTE.

COMO PUEDE VERSE, NINGUNO DE LOS MÉTODOS PROPUESTOS PARA MEJORAR LAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA O COMPRESIBILIDAD DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN DE UN TERRAPLÉN CONSTITUYE UNA SOLUCIÓN UNIVERSAL, DE MANERA QUE EN CADA CASO EN QUE SE HAGA REALMENTE INDISPENSABLE MEJORAR TALES CONDICIONES SERÁ PRECISO ANALIZAR TODAS LAS CIRCUNSTANCIAS PARTICULARES, A FIN DE ESCOGER LA SOLUCIÓN O COMBINACIÓN DE SOLUCIONES MÁS CONVENIENTES. DE HECHO, ALGUNOS DE LOS MÉTODOS PROPUESTOS SON CONTRADICTORIOS, EN EL SENTIDO DE QUE SI BIEN RESULTAN FAVORABLES PARA ALGÚN ASPECTO DEL PROBLEMA, PUEDEN RESULTAR DESFAVORABLES PARA OTROS. ASÍ, LA ELECCIÓN DEL CRITERIO A SEGUIR EN CADA CASO NO ESTÁ SUBORDINADA A REGLAS FIJAS, SINO QUE ES MATERIA DE JUICIO DEL PROYECTISTA. AFORTUNADAMENTE, TANTO EL MONTO DE LOS ASENTAMIENTOS, COMO SU EVOLUCIÓN CON EL TIEMPO (SI BIEN ÉSTA CON MENOR PRECISIÓN) SON CALCULABLES POR LOS MÉTODOS TEÓRICOS QUE PROPORCIONA LA MECÁNICA DE SUELOS.

ESTE CÁLCULO, POR CIERTO, EXIGE UN CONOCIMIENTO MUCHO MÁS DETALLADO DE LAS PROPIEDADES DEL SUBSUELO DEL QUE PUEDE LOGRARSE CON LOS PROCEDIMIENTOS NORMALES ACTUALMENTE EN USO PARA LA EXPLORACIÓN DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN PARA CARRETERAS Y AEROPISTAS, POR LO QUE CUANDO SE TRABAJE EN ÁREAS DE SUELOS ARCILLOSOS BLANDOS QUE PRESENTEN PROBLEMAS ESPECIALES, LA EXPLORACIÓN HA DE SER TAMBIÉN DE TIPO ESPECIAL, INCLUYENDO LA



OBTENCIÓN DE MUESTRAS INALTERADAS; COMO CONSECUENCIA, EL PROGRAMA DE PRUEBAS DE LABORATORIO TAMPOCO PODRÁ SER RUTINARIO Y DEBERÁ COMPRENDER LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE COMPRESIÓN SIMPLE Y TRIAXIALES, PARA DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, Y DE PRUEBAS DE CONSOLIDACIÓN, PARA DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD.

AGUA EN EL TERRENO DE CIMENTACIÓN

DEL AGUA QUE CAE SOBRE EL TERRENO NATURAL EN EL LUGAR QUE SE CONSTRUIRÁ UNA VÍA TERRESTRE, PARTE ESCURRE POR LA SUPERFICIE, PARTE SE INFILTRA EN ÉL Y PARTE SE EVAPORA. LA RELACIÓN ENTRE EL AGUA QUE ESCURRE Y LA PRECIPITACIÓN TOTAL ES EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO DEL TERRENO; ÉSTE ES VARIABLE SEGÚN EL TIPO DE SUELO, SU PENDIENTE, TIPO DE VEGETACIÓN Y OTROS FACTORES.

EL AGUA QUE ESCURRE SOBRE LA SUPERFICIE DEL TERRENO, LO EROSIONA Y, MÁS TARDE O MÁS TEMPRANO, SE INCORPORA A ALGUNA CORRIENTE SUPERFICIAL.

LA QUE SE INFILTRA A TRAVÉS DEL SUELO, LO PENETRA HASTA SER DETENIDA POR UNA CAPA IMPERMEABLE Y SATURA LA ZONA SUPRAYACENTE A ESA CAPA FORMANDO EL NIVEL FREÁTICO, QUE SE MANTENDRÁ A UN NIVEL MÁS O MENOS CONSTANTE EN TANTO NO HAYA UNA MODIFICACIÓN SUBSTANCIAL EN EL RÉGIMEN HIDRÁULICO DE LA ZONA. CUANDO EL AGUA FREÁTICA AFLORA O ES MUY POCO PROFUNDA, DA LUGAR A TERRENOS PANTANOSOS. CUANDO EL AGUA FREÁTICA ESTÁ A RELATIVA PROFUNDIDAD, PERO EL TERRENO SOBRE ELLA ES FINO Y CON POTENCIAL CAPILAR ELEVADO, AQUÉLLA PUEDE ASCENDER A IMPORTANTES ALTURAS Y PUEDE LLEGAR A PERJUDICAR A LAS TERRACERÍAS Y A LOS PAVIMENTOS. SE MENCIONAN A CONTINUACIÓN LOS EFECTOS PRINCIPALES A QUE DAN LUGAR LOS CAMBIOS EN EL AGUA FREÁTICA Y CAPILAR DENTRO DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN.



1. AL CAMBIAR EL CONTENIDO DE AGUA DE LOS SUELOS CAMBIAN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS MÁS IMPORTANTES, TALES COMO LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, QUE DISMINUYE NOTABLEMENTE EN SUELOS ARCILLOSOS O CON APRECIABLE CONTENIDO DE FINOS CUANDO AQUÉL AUMENTA, Y LA COMPRESIBILIDAD, QUE CRECE CUANDO EL SUELO FINO ADQUIERE AGUA. EN SUELOS ARENOSOS, ESPECIALMENTE EN LOS CEMENTADOS CON SUBSTANCIAS SOLUBLES, LA INVASIÓN DE AGUA PUEDE PRODUCIR CAMBIOS DRÁSTICOS EN LA ESTRUCTURACIÓN Y, POR LO TANTO, EN LA RESISTENCIA; TAMBIÉN EN ESTE CASO DISMINUYE LA RESISTENCIA POR LAS FUERZAS BOYANTES QUE SE EJERCEN SOBRE LOS MATERIALES BAJO EL NIVEL FREÁTICO. TODO LO ANTERIOR SE REFLEJA EN LOS ASENTAMIENTOS PRODUCIDOS EN LOS TERRAPLENES, EN LA POSIBLE FALLA DE ÉSTOS, EN LAS DEFORMACIONES QUE PUEDE SUFRIR LA CAPA SUBRASANTE, ETC.
2. LOS MOVIMIENTOS Y VARIACIONES EN EL AGUA FREÁTICA Y SUS EFECTOS NO SON NUNCA UNIFORMES, POR LO QUE PRODUCEN ÁREAS DE DIFERENTES COMPORTAMIENTOS EN EL TERRENO DE CIMENTACIÓN.
3. LOS CAMBIOS EN CONTENIDOS DE AGUA PROPICIAN CAMBIOS DE VOLUMEN PERJUDICIALES EN SUELOS EXPANSIVOS.
4. EN SUELOS SUSCEPTIBLES A LAS HELADAS LA EXISTENCIA DE AGUA ES PARTICULARMENTE PELIGROSA, DEBIDO A LOS CAMBIOS DE VOLUMEN Y RESISTENCIA QUE SE PRODUCEN CON EL CONGELAMIENTO PERIÓDICO.
5. LA ACCIÓN DEL AGUA EN EL PAVIMENTO PUEDE PRODUCIR EFECTOS DESTRUCTIVOS DIFERENTES DE LOS ASOCIADOS A LOS CAMBIOS DE VOLUMEN O DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS, TALES COMO EL BOMBEO O LA SEPARACIÓN DE LA PELÍCULA DE ASFALTO DE LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO EN LAS CARPETAS O EN LAS BASES ASFÁLTICAS.



ADEMÁS DE ESOS EFECTOS, EL AGUA QUE CORRE SUPERFICIALMENTE PRODUCE EROSIONES EN LA OBRA VIAL Y EN EL TERRENO DE CIMENTACIÓN QUE SON SIEMPRE INDESEABLES. ES INDISPENSABLE EL DRENAJE SUPERFICIAL DE ESTAS AGUAS.

MUCHOS DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN QUE OFRECEN MEJORES RESULTADOS, ESTÁN RELACIONADOS CON LA ELIMINACIÓN DEL AGUA DEL INTERIOR DE LOS SUELOS. ESTAS SON LAS TÉCNICAS DE SUBDRENAJE QUE DESEMPEÑAN UN PAPEL FUNDAMENTAL EN LA INGENIERÍA DE LAS VÍAS TERRESTRES Y QUE, SIN DUDA, ESTÁN DESTINADAS A DESEMPEÑARLO EN FORMA MÁS IMPORTANTE CADA VEZ.

CUANDO SE COLOCA UN TERRAPLÉN SOBRE EL TERRENO NATURAL SE MODIFICA EL RÉGIMEN HIDRÁULICO, EN EL SENTIDO DE QUE SE IMPIDE LA EVAPORACIÓN DEL AGUA EN UN ÁREA QUE ANTES ERA DE LIBRE EXPOSICIÓN; POR ESTA CAUSA EL NIVEL FREÁTICO TENDERÁ SIEMPRE A ASCENDER EN EL TERRENO NATURAL BAJO LOS TERRAPLENES. ADEMÁS, EN EL TERRENO NATURAL PUEDE EXISTIR AGUA, SEA PROPIA DEL LUGAR O PROVENIENTE DE UN FLUJO QUE LE TRAIGA DESDE OTRA PARTE.

TERRENO DE CIMENTACIÓN CONSTITUIDO POR ARENAS LIMPIAS.

EL CASO DE INTERÉS ESPECIAL QUE SERÁ TRATADO EN ESTA SECCIÓN, CORRESPONDE AL CRUCE DE UNA VÍA TERRESTRE POR UNA ZONA DE MÉDANOS. SI BIEN ESTA LOCALIZACIÓN NO ES MUY FRECUENTE Y PROBABLEMENTE DEBA EVITARSE EN CUANTO SEA POSIBLE, EXISTEN CASOS DE LOCALIZACIÓN FORZADA QUE UNA VEZ OCURRIDOS HAN SIDO FUENTE DE PROBLEMAS MUY COSTOSOS Y DE DIFÍCIL SOLUCIÓN. HAY TAMBIÉN ALGUNAS REGLAS DE APLICACIÓN CASI FORZOSA Y ALGUNOS MÉTODOS DE CORRECCIÓN DE PROBLEMAS QUE PUEDEN RENDIR BUENOS RESULTADOS; A TODO ELLO SE ENFOCA SOMERAMENTE LA ATENCIÓN DE ESTE PÁRRAFO.



EN TÉRMINOS GENERALES EL MOVIMIENTO DE LOS MÉDANOS, QUE ES LA PRINCIPAL FUENTE DE PROBLEMAS PARA LA VÍA TERRESTRE, VARIA INVERSAMENTE CON SU TAMAÑO, DE MANERA QUE UN GRAN MÉDANO, DE POR EJEMPLO 100 M DE ALTURA PUEDE AVANZAR TAN POCO COMO UN PAR DE CENTÍMETROS POR AÑO, EN TANTO QUE MÉDANOS DE 2 Ó 3 M DE ALTURA PUEDEN RECORRER DECENAS DE CENTÍMETROS POR AHORA, DURANTE UNA TORMENTA VIOLENTA. UN MÉDANO DE 10 M DE ALTURA FÁCILMENTE PUEDE DESPLAZARSE UN METRO POR AÑO. LO ANTERIOR DEBE ORIENTAR AL CRITERIO DEL INGENIERO EN CUANTO A LA MAGNITUD DEL PROBLEMA QUE ENFRENTA.

UN MÉDANO REPRESENTA HASTA CIERTO PUNTO UNA ACUMULACIÓN DE ARENA A VOLTEO, DE MANERA QUE ES DE ESPERAR QUE EL TALUD DEL FRENTE DE AVANCE SE ENCUENTRE EN INCLINACIÓN MUY PRÓXIMA AL ÁNGULO DE EQUILIBRIO LÍMITE; EN SU PARTE POSTERIOR, EL MÉDANO TIENE UN TALUD MUCHO MÁS TENDIDO, CONSECUENCIA DE SU GÉNESIS Y MODO DE AVANCE BAJO LA ACCIÓN DE LOS VIENTOS DOMINANTES. CUALQUIER CORTE PRACTICADO EN EL FRENTE DE AVANCE TENDRÁ SIEMPRE MAYOR INCLINACIÓN QUE EL ÁNGULO DE EQUILIBRIO LÍMITE DE ARENA, POR LO QUE NO SERÁ ESTABLE Y PRODUCIRÁ INVASIÓN DE MATERIAL SOBRE LA CAMA DEL CORTE, INDEPENDIENTEMENTE DE QUE ESTE FENÓMENO PUEDA RETRASARSE CON RESPECTO AL MOMENTO DE LA CONSTRUCCIÓN, SI LA ARENA TUVIERA COHESIÓN APARENTE POR EFECTO DE LA TENSIÓN CAPILAR. DESDE LUEGO ES CIERTO QUE LA ESTABILIDAD GENERAL DEL MÉDANO NO SE VERÁ AFECTADA BÁSICAMENTE POR EL CORTE, POR LO QUE, EN GENERAL, LOS VOLÚMENES CAÍDOS NO SERÁN IMPORTANTES, PERO LO CONTINUO DEL FENÓMENO Y LOS PELIGROS QUE IMPLICA PARA EL TRÁNSITO HACEN DESACONSEJABLE EL EFECTUAR CUALQUIER CLASE DE CORTE EN MÉDANOS.

DE ESTA MANERA EL TRAZO DE LA VÍA TERRESTRE DEBERÁ DESARROLLARSE SIEMPRE EN TERRAPLÉN O POR LO MENOS, AL NIVEL DE LAS



DUNAS DE MAYOR ELEVACIÓN. LA REGLA ANTERIOR PUEDE LLEGAR A COSTOS PROHIBITIVOS Y EN ALGUNAS OCASIONES EL INGENIERO DEBERÁ CONFORMARSE CON QUE SU TRAZO OCURRA A NIVEL DE LOS MÉDANOS MÁS MÓVILES, PERO CUIDANDO DE NO CORTAR LOS DE ALTURA SUPERIOR. NO DEBE PENSARSE QUE AL EVITAR LOS CORTES Y REALIZAR UN TRAZO EN TERRAPLÉN SE RESUELVEN TODOS LOS PROBLEMAS QUE ACARREAN EL CRUCE DE UNA ZONA DE MÉDANOS. EL TERRAPLÉN REPRESENTA SIEMPRE UNA BARRERA A LOS VIENTOS Y AL MOVIMIENTO GENERAL DE LA ARENA.

HA SIDO PRÁCTICA COMÚN DEFENDER LAS CARRETERAS A TRAVÉS DE ZONAS DE MÉDANOS CON VEGETACIÓN APROPIADA PLANTADA EN DIRECCIÓN DE DONDE AVANZA LA ARENA. LAS PLANTACIONES PUEDEN HACERSE EN FORMA MASIVA O EN LÍNEAS SENSIBLEMENTE PARALELAS A LA VÍA TERRESTRE; SU EFECTO PUEDE COMPLEMENTARSE CON BORDOS, EMPALIZADAS Y GRUPOS DE ÁRBOLES Y ARBUSTOS.

TERRENO DE CIMENTACIÓN CONSTITUIDO POR ARCILLAS MUY BLANDAS Y TURBAS.

EN GENERAL, TODOS LOS DEPÓSITOS DE SUELOS BLANDOS Y TURBAS SUSCEPTIBLES DE CAUSAR SERIOS PROBLEMAS TIENEN TRES CONDICIONES EN COMÚN:

SON ZONAS PLANAS, TIENEN MAL DRENAJE SUPERFICIAL Y ESTÁN FORMADOS POR SUELOS MUY FINOS U ORGÁNICOS.

EL PRIMER REQUISITO PARA SUPERAR ESTE TIPO DE PROBLEMAS ES, NATURALMENTE, EL DETECTARLOS Y ELLO DEBE SUCEDER EN LA ETAPA DE PROYECTO, ANTES DE QUE SE PRODUZCAN COSTOSOS DAÑOS A LA VÍA TERRESTRE Y EN MOMENTOS EN QUE EL INGENIERO CONSERVA TODA SU LIBERTAD DE ACCIÓN, INCLUYENDO LA CAPACIDAD DE ESTUDIAR UN CAMBIO DE



TRAZO QUE LO ALEJE DE LA ZONA QUE SE REVELE COMO CRÍTICA. PARA ESTO ES DE SINGULAR AYUDA LA FOTOINTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS. PERO UNA VEZ QUE SE DECIDA ARROSTRAR LOS PELIGROS Y ALTOS COSTOS QUE SIGNIFICA CRUZAR UNA ZONA DE SUELOS BLANDOS U ORGÁNICOS, EL INGENIERO DEBE COMPRENDER QUE CASI TODOS LOS MÉTODOS DE PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE QUE DISPONDRÁ REQUIEREN DE UN BUEN CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPRESIBILIDAD Y RESISTENCIA DE LOS SUELOS SOBRE LOS QUE SE CONSTRUIRÁ LA VÍA, ASÍ COMO DE LOS QUE SE UTILIZARÁN EN LA FORMACIÓN DE LA MISMA. ASÍ ESTE ES UN CASO QUE DEBE VERSE COMO ESPECIAL EN LO QUE SE REFIERE A EXPLORACIÓN DE SUELOS Y PRUEBAS DE LABORATORIO, EN EL QUE SE JUSTIFICARÁ EL USO DE LOS MÉTODOS MÁS DELICADOS PARA OBTENER MUESTRAS INALTERADAS Y EL DESARROLLO DE PROGRAMAS COMPLETOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO, QUE INCLUYAN PRUEBAS DE CONSOLIDACIÓN Y TRIAXIALES.

LA EXPLORACIÓN DEBERÁ HACERSE SEPARANDO MUY CLARAMENTE LAS DOS ETAPAS TRADICIONALES; PRIMERAMENTE SE REALIZA UN MUESTREO PRELIMINAR, CON PROCEDIMIENTOS SENCILLOS Y ECONÓMICOS QUE PROPORCIONAN MUESTRAS ALTERADAS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y DESPUÉS, SE HACE LA INVESTIGACIÓN DEFINITIVA, CON MÉTODOS DELICADOS Y MUCHO MÁS COSTOSOS, CAPACES DE PROPORCIONAR MUESTRAS INALTERADAS. LA ORIENTACIÓN QUE SE OBTENGA EN LA PRIMERA ETAPA, QUE DEBE LLEVARSE HASTA QUE SE PUEDEN FORMULAR PERFILES DE SUELOS RAZONABLEMENTE CONFIABLES, SERÁ FUNDAMENTAL PARA PLANEAR LA SEGUNDA CON UN COSTO DE TIEMPO Y DINERO ÓPTIMOS.

LA INFORMACIÓN QUE SE RECABE SOBRE EL TERRENO DE CIMENTACIÓN DEBERÁ ARROJAR LUZ SUFICIENTE PARA ESTUDIAR LOS SIGUIENTES PROBLEMAS PRINCIPALES:



1. ESTABILIDAD DEL TERRAPLÉN.
2. ASENTAMIENTO DEL TERRAPLÉN.

EN GENERAL, SERÁ DESEABLE QUE TODO EL ASENTAMIENTO SIGNIFICATIVO OCURRA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA, PERO ESTO NO SUELE LOGRARSE SIN USAR ACELERANTES DEL PROCESO DE CONSOLIDACIÓN, TALES COMO DRENES DE ARENA O SOBRECARGAS (EN RIGOR EL TIEMPO DE ASENTAMIENTO NO DEPENDE DE LA CARGA, PERO LA MAGNITUD DEL ASENTAMIENTO PRODUCIDO SI CRECE CON ELLA, DE MANERA QUE UNA SOBRECARGA PRODUCIRÁ EN MENOS TIEMPO EL ASENTAMIENTO FINAL A QUE LLEGARÍA EL TERRAPLÉN NO SOBRECARGADO); SI ESTOS MÉTODOS SON ANTIECONÓMICOS EN SU CASO DADO, DEBERÁ PENSARSE EN OBRAS DE PAVIMENTACIÓN PROVISIONAL, SOBREELEVACIONES, ETC., PUES EL TERRAPLÉN SE HUNDIRÁ EN LA ETAPA DE OPERACIÓN DE LA OBRA.

LA MAGNITUD Y LA NATURALEZA DEL PROBLEMA QUE SE PUEDA TENER EN CADA CASO QUEDAN FUERTEMENTE INFLUIDAS POR ALGUNAS CARACTERÍSTICAS QUE CONVIENE MENCIONAR A CONTINUACIÓN.

LAS DIMENSIONES DEL TERRAPLÉN.

SU ALTURA Y ANCHO INFLUYEN MUCHO EN LA SOLUCIÓN QUE HAYA QUADOPTARSE. UN TERRAPLÉN ALTO Y ESTRECHO SE HUNDE POR DESPLAZAMIENTO MUCHO MÁS QUE OTRO BAJO Y ANCHO, POR LO CUAL EN LOS PRIMEROS PUEDE SER MUCHO MÁS EFECTIVO UN PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN A BASE DE DESPLAZAR EL MATERIAL DE CIMENTACIÓN.

CARACTERÍSTICAS DE LA CIMENTACIÓN.

INFLUYE SOBRE TODO EL PERFIL DE RESISTENCIA DEL SUELO BLANDO Y SU ESPESOR.



MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

LOS CRITERIOS DEL INGENIERO SE VEN MUY INFLUIDOS POR LA DISPONIBILIDAD Y EL COSTO DE LOS MATERIALES CON QUE HARÁ SU TERRAPLÉN. POR EJEMPLO, SI NO HAY MATERIAL GRANULAR A DISTANCIA PRUDENTE NO PODRÁ PENSARSE EN COLOCACIÓN BAJO AGUA A VOLTEO. LA UTILIZACIÓN DE MATERIALES LIGEROS COMO TEZONTLES O CENIZAS VOLCÁNICAS SOLO SERÁ POSIBLE CUANDO LAS DISTANCIAS DE ACARREO SEAN ADECUADAS PERO, POR OTRO LADO DE POSIBILIDAD DE TALES MATERIALES ABRE OPORTUNIDADES DE UTILIZAR MUCHAS SOLUCIONES QUE DE OTRA MANERA ESTARÍA VEDADAS.

EL PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN.

LOS REQUERIMIENTOS DE PROGRAMA INFLUYEN MUCHO EN LOS MÉTODOS DE PROYECTO QUE PUEDAN INTENTARSE. EN ESTE SENTIDO, ES IMPORTANTE EL MOMENTO EN HAYA DE CONSTRUIRSE EL PAVIMENTO DEFINITIVO, COMO TAMBIÉN LO ES EL QUE HAYA O NO DISPONIBILIDAD DE TIEMPO PARA CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS, USO DE SOBRECARGA, ETC.

LOCALIZACIÓN.

LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS DEL LUGAR, SEAN NATURALES O CREADAS POR EL HOMBRE COMO CONSECUENCIA DE OTRAS OBRAS, TAMBIÉN INFLUYEN MUCHO EN LOS MÉTODOS QUE PUEDAN SELECCIONARSE PARA RESOLVER UN PROBLEMA DADO. POR EJEMPLO, LA EXISTENCIA DE POBLACIÓN IMPONE SEVERAS RESTRICCIONES AL USO DE EXPLOSIVOS, O EL DISPONER DE UN DERECHO DE VÍA ESTRECHO, AL USO DE BERMAS O A LA FORMACIÓN DE ONDAS DE LODO.



EN LA TABLA 8 SE RESUME BREVEMENTE EL CONJUNTO DE MÉTODOS PARA CIMENTAR TERRAPLENES EN TERRENOS MUY BLANDOS.

TABLA 8. MÉTODOS PARA CIMENTAR TERRAPLENES EN TERRENOS MUY BLANDOS

- I. REMOCIÓN POR:
 - A. EXCAVACIÓN
 - 1. COMPLETA
 - 2. PARCIAL
 - B. DESPLAZAMIENTO
 - 1. POR EL PESO DEL TERRAPLEN , CON O SIN SOBRECARGAS
 - 2. CON EXPLOSIVOS
- II. TRATAMIENTO DEL TERRENO:
 - A. FUNDAMENTALMENTE POR REQUERIMIENTOS DE ESTABILIDAD
 - 1. CONSTRUCCIÓN ANTICIPADA O POR ETAPAS
 - 2. USO DE MATERIALES LIGEROS
 - 3. BERMAS ESTABILIZADORAS
 - 4. DRENAJE INTERCEPTOR
 - B. FUNDAMENTALMENTE POR REQUERIMIENTOS DE ASENTAMIENTO
 - 1. CONSTRUCCION POR ETAPAS.
 - 2. SOBRECARGAS
 - 3. COMPACTACIÓN CON EQUIPOS PESADOS
 - C. POR REQUERIMIENTOS DE ESTABILIDAD Y ASENTAMIENTO
 - 1. CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS O CON SOBRECARGAS
 - 2. DRENES VERTICALES DE ARENA
 - 3. COMBINACION DE CUALQUIERA DE LOS MÉTODOS ANTERIORES

ANTES DE PROCEDER A UNA SOMERA DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS ARRIBA MENCIONADOS, CONVIENE RESEÑAR BREVEMENTE LAS PROPIEDADES PRINCIPALES DE SUELOS DE CIMENTACIÓN MUY BLANDOS, ASÍ COMO DE LOS MÉTODOS MÁS CONFIABLES PARA OBTENER TAL INFORMACIÓN.



DESDE EL PUNTO DE VISTA AHORA ENFOCADO, LAS PROPIEDADES MÁS IMPORTANTES DE LAS TURBAS Y DE LOS SUELOS MUY BLANDOS SON EL PESO ESPECÍFICO, CONTENIDO DE AGUA, LA PERMEABILIDAD, LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE Y LA COMPRESIBILIDAD. POR SU ALTO CONTENIDO DE AGUA Y POR LA DIFICULTAD EN LA OBTENCIÓN Y LABRADO DE LOS ESPECIMENES, EN ESTOS SUELOS DEBERÁN CUIDARSE ESPECIALMENTE TODAS LAS MANIPULACIONES DE MUESTREO Y PRUEBA, A FIN DE OBTENER RESULTADOS ESTADÍSTICAMENTE CONCORDANTES.

EL CONTENIDO DE AGUA DE LAS TURBAS Y ARCILLAS MUY COMPRESIBLES PUEDE VARIAR DE 400% A 1500%; SE A REPORTADO ALGÚN VALOR ARRIBA DEL 2000%. ES COMÚN QUE EL METRO MÁS SUPERFICIAL DEL TERRENO PRESENTE CONTENIDOS DE AGUA MUCHO MÁS BAJOS, AUN EN LAS ZONAS CON MAYOR PREDOMINIO DE TURBAS. LA RELACIÓN DE VACÍOS PUEDE ESTIMARSE A PARTIR DEL CONTENIDO DE AGUA Y EL PESO ESPECÍFICO RELATIVO TAMBIÉN PUEDE ESTIMARSE, PRESENTANDO VALORES TAN BAJOS COMO 1.5 Ó 1.6 PARA TURBAS MUY PURAS. PUEDE TENER INTERÉS CONOCER EL CONTENIDO DE AIRE Y GASES EN LAS TURBAS, PARA LO CUAL NO EXISTE PRUEBA ESTÁNDAR DE VALOR RECONOCIDO, POR LO QUE SE RECURRE A ESTIMARLO EN PRUEBAS DE CONSOLIDACIÓN. VALORES DE HASTA UN 10% NO SON RAROS EN LAS TURBAS.

LAS TURBAS REDUCEN FUERTEMENTE SU PERMEABILIDAD AL AUMENTAR LA CARGA QUE ACTÚA SOBRE ELLAS; EN FORMACIONES VÍRGENES, EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD SUELE ESTAR ENTRE 10^{-2} Y 10^{-4} CM/SEG, PERO PUEDE REDUCIRSE A 10^{-9} CM/SEG EN TURBAS CONSOLIDADAS BAJO UN TERRAPLÉN DE UNO O DOS METROS DE ALTURA. EN LA FIGURA 14 SE MUESTRA UNA CORRELACIÓN ENTRE VALORES DE LA RELACIÓN DE VACÍOS Y LA PERMEABILIDAD DE LAS TURBAS DE LA COLUMBIA BRITÁNICA DE LAS QUE SE TRATA EN LA REFERENCIA.



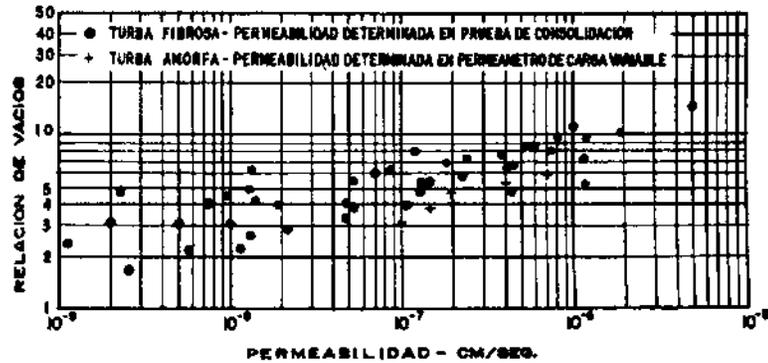


FIG. 14 RELACIÓN DE VACÍOS VS. PERMEABILIDAD EN TURBAS.

LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE PUEDE DETERMINARSE CON PRUEBAS DE COMPRESIÓN SIMPLE O PRUEBAS TRIAXIALES, SI BIEN PUEDE HABER DIFICULTADES CRECIENTES PARA EL LABRADO DE LOS ESPECIMENES CUANTO MÁS ORGÁNICO SEA EL SUELO, POR LO QUE SE RECURRE FRECUENTEMENTE A DETERMINAR LA RESISTENCIA CON PRUEBAS DE VELETA Y A ESTIMARLA APLICANDO EL CÁLCULO EN SECCIONES EN QUE HAYA OCURRIDO O SE INDUZCA UNA FALLA.

EN LA TABLA 9, SE PRESENTA UNA COMPARACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE OBTENIDA PARA DIVERSAS TURBAS Y SU CONTENIDO DE AGUA. LA MAYOR PARTE DE LAS RESISTENCIAS DE LA TABLA CORRESPONDEN A MEDIDAS CON VELETA EN EL LUGAR. LA TABLA PROPORCIONA TAMBIÉN UNA INTERESANTE LISTA DE TRABAJOS SOBRE EL TEMA, SEGÚN RECOPIACIÓN DE LEO CASAGRANDE.

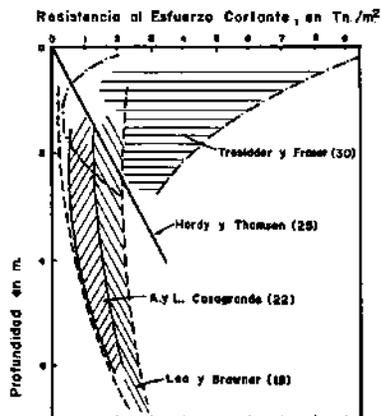
TABLA 9. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN TURBAS

REFERENCIA	LOCALIZACIÓN DE LA TURBA	RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE (T/M ²)	CONTENIDO NATURAL DE AGUA (%)
ANDERSEN Y HEMPSTOCK	CANADÁ (ALBERTA)	0.50 - 1.25	700 - 1400
CASAGRANDE, A. Y L.	E. E. U. U.	0.35 - 2.90	400 - 800
		1.35	400 - 550



		0.35 - 0.95	250 - 380
		5.00	110
DÜCKER	ALEMANIA (HOLSTEIN)	0.10 - 5.00	400 - 800
FRASER	IRLANDA DEL NORTE	1.40 - 2.80	680 - 1450
HARDY Y THOMSON	CANADÁ (N. O.)	0.50 - 3.00	470 - 760
LEA Y BRAWNER	CANADÁ (ALBERTA)	0.55 - 1.50	NO HAY DATO
MARGASON Y FRASER	IRLANDA DEL NORTE	1.70	790
MOOS Y SCHNELLER	SUIZA	0.50 - 1.50	220 - 1460
RIPLEY Y LEONOFF	CANADÁ	1.00 - 2.25	100 - 2100
SMITH	INGLATERRA	0.35 - 1.80	NO HAY DATO
TRESIDDER Y FRASER	ESCOCIA	0.35 - 9.35	400 - 1600
WARD	INGLATERRA, GALES	0.65	800 - 1000

RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE VS. PROFUNDIDAD, EN TURBAS
(MEDICIONES CON VELETA EN EL LUGAR)



EN LA FIGURA SIGUIENTE SE PRESENTAN RESULTADOS MEDIOS OBTENIDOS POR DISTINTOS INVESTIGADORES EN VARIOS LUGARES, QUE CORRELACIONAN LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE CON LA PROFUNDIDAD; EN ELLA PUEDE OBSERVARSE EL IMPORTANTE EFECTO DE SECADO PROPIO DE LOS SUELOS TURBOSOS. LA MAYORÍA DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VELETA SE



CONCENTRAN EN LA PARTE MEDIA DE LA FIGURA (PARTE SOMBREADA) Y MUESTRAN UNA PRECONSOLIDACIÓN SUBSTANCIAL POR SECADO AUN A LAS MAYORES PROFUNDIDADES.

A CAUSA DE LA PERMEABILIDAD RELATIVAMENTE ALTA DE LAS TURBAS, LA CONSOLIDACIÓN PRIMARIA SE PRODUCE EN ELLAS MUY RÁPIDAMENTE. LA CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA OCURRE SOBRE TODO CUANDO LA PRIMARIA TERMINÓ Y GENERALMENTE SIGUE UNA LEY LINEAL (RECTA) CUANDO SE DIBUJA EL ASENTAMIENTO CONTRA EL TIEMPO (ESTE ÚLTIMO EN ESCALA LOGARÍTMICA); LA CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA PUEDE SER MUCHO MÁS IMPORTANTE QUE LA PRIMARIA Y DURAR MUCHOS AÑOS, VIÉNDOSE AFECTADA POR LA DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DURANTE LA VIDA DE LA OBRA. LA PREDICCIÓN DEL ASENTAMIENTO EN LAS TURBAS POR LOS MÉTODOS NORMALES DE LA MECÁNICA DE SUELOS ES INCIERTA, COMO CONSECUENCIA DE LO ANTERIOR Y AUN LO ES MÁS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS CON EL TIEMPO. LA TEORÍA DE TERZAGHI PROBABLEMENTE NO SEA APLICABLE A LAS TURBAS; LAS CAUSAS MÁS IMPORTANTES DE ELLO SON EL DRENAJE HORIZONTAL QUE OCURRE EN ESTOS SUELOS, LA ANISOTROPÍA QUE PRESENTAN EN LO RELATIVO A LA PERMEABILIDAD Y EL ESCASO SENTIDO QUE PUEDE TENER DETERMINAR EN TURBAS EL 100% DE CONSOLIDACIÓN PRIMARIA.

SI EL SUELO BLANDO ES INORGÁNICO, ES DE ESPERAR QUE SI LA HOMOGENEIDAD DE LAS ARCILLAS ES RAZONABLE, PUEDA APLICARSE LA TEORÍA DE TERZAGHI PARA EL CÁLCULO DEL ASENTAMIENTO Y AÚN PARA EL DE SU EVOLUCIÓN CON EL TIEMPO, SI BIEN ESTA ÚLTIMA SE DETERMINARÁ CON MUCHA MENOR PRECISIÓN.

POR LAS RAZONES ANTERIORES, SOBRE TODO EN TURBAS, LOS RESULTADOS DE CUALQUIER CÁLCULO DE ASENTAMIENTO O EVOLUCIÓN DE ÉSTOS NO SERÁN CONFIABLES EN GRADO SUFICIENTE PARA SERVIR DE BASE A UN PROYECTO IMPORTANTE; ESTE ES UN CASO EN QUE PUEDE RENDIR



MAGNÍFICOS FRUTOS DE LA INSTRUMENTACIÓN DE TERRAPLENES DE PRUEBA, HECHOS PREFERENTEMENTE A ESCALA NATURAL.

UNA VEZ CONCEPTUALIZADO TODO LO ANTES EXPUESTO SE PROCEDIO EN EL LUGAR DE LA OBRA A REALIZAR LOS POZOS A CIELO ABIERTO Y EN GENERAL A REALIZAR EL ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS, CONFORME A LO SIGUIENTE:

SE REALIZO UN RECORRIDO SOBRE LA VIALIDAD EXISTENTE, EN DONDE SE PUDO OBSERVAR QUE ACTUALMENTE SE ENCUENTRAN REALIZADOS LOS CORTES Y/O EXCAVACIONES PARA ALOJAR LA ESTRUCTURA NUEVA DEL PAVIMENTO, ESTO SE PUEDE APRECIAR EN LA ILUSTRACIONES ANTERIORES.

COMO SE MENCIONO ANTERIORMENTE SE APROVECHO LA EXCAVACION PARA DETECTAR EL TERRENO NATURAL QUE SE ENCUENTRA EN LA AMPLIACION DE LA AVENIDA.

PARA CONOCER LAS CONDICIONES ACTUALES E INDICAR EN QUE ZONAS SE REALIZARON 6 SONDEOS O POZOS A CIELO ABIERTO.

POR LO QUE SE PROCEDIÓ A REALIZAR LOS POZOS EN LOS SIGUIENTES CADENAMIENTOS:

PCA 1 = 2+000 LADO DERECHO

PCA 2 = 1+500 LADO IZQUIERDO

PCA 3 = 1+100 LADO DERECHO

PCA 4 = 0+800 LADO IZQUIERDO

PCA 5 = 0+500 LADO DERECHO

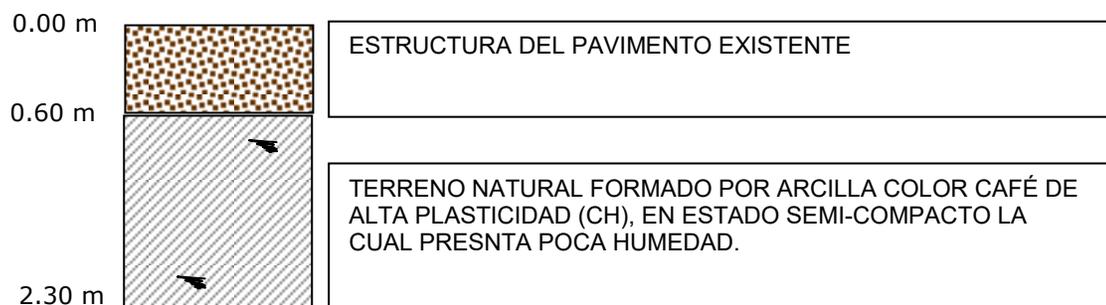
PCA 6 = 0+120 LADO DERECHO

UNA VEZ REALIZADOS LOS SONDEOS A CIELO ABIERTO SE ENCONTRO LA SIGUIENTE ESTRATIGRAFIA.

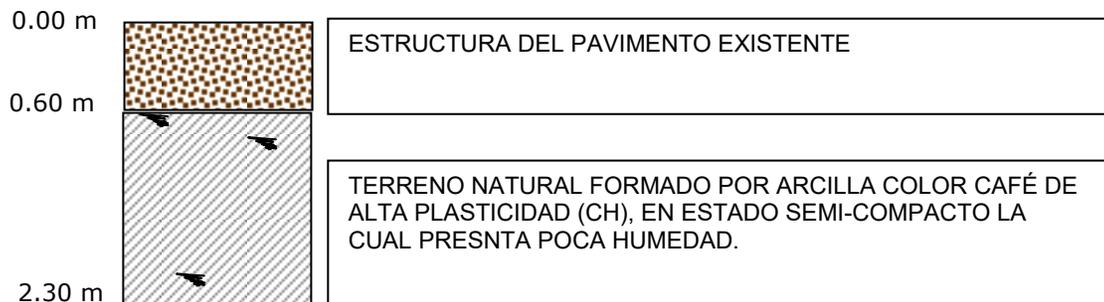


DESCRIPCIÓN ESTRATIGRAFICA DE LOS SONDEOS REALIZADOS

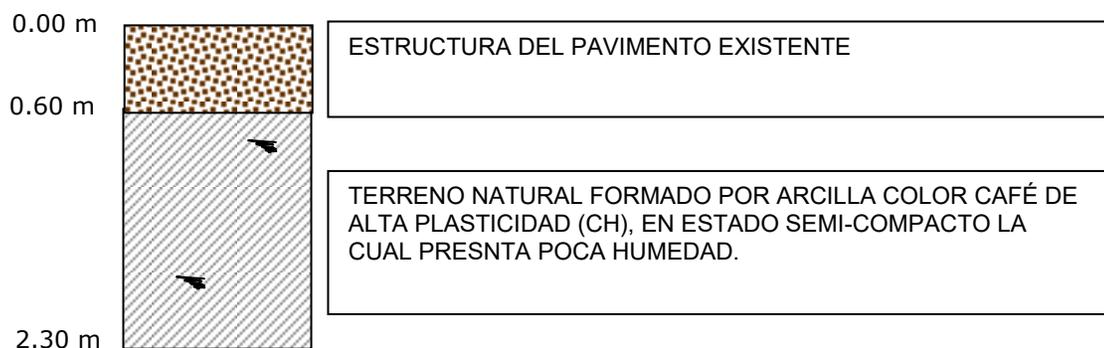
SONDEO No.1
CADENAMIENTO 2+000
LADO DERECHO

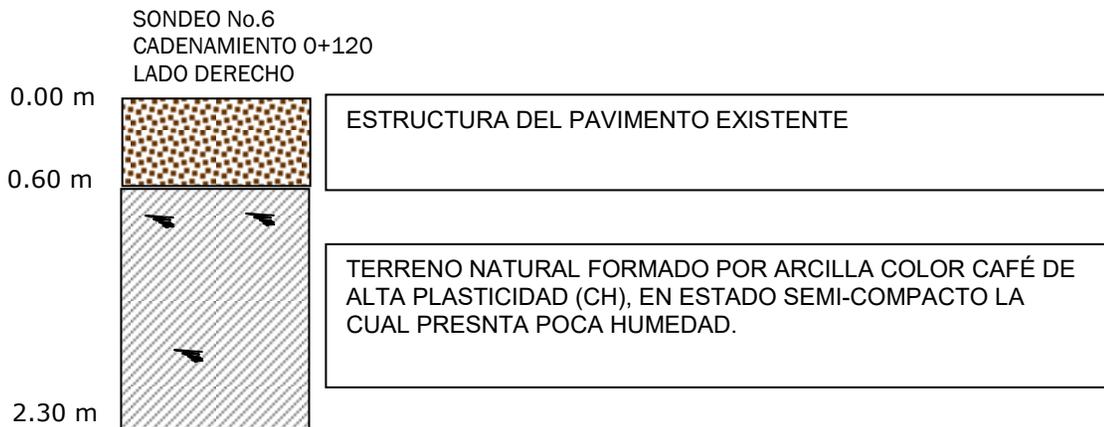
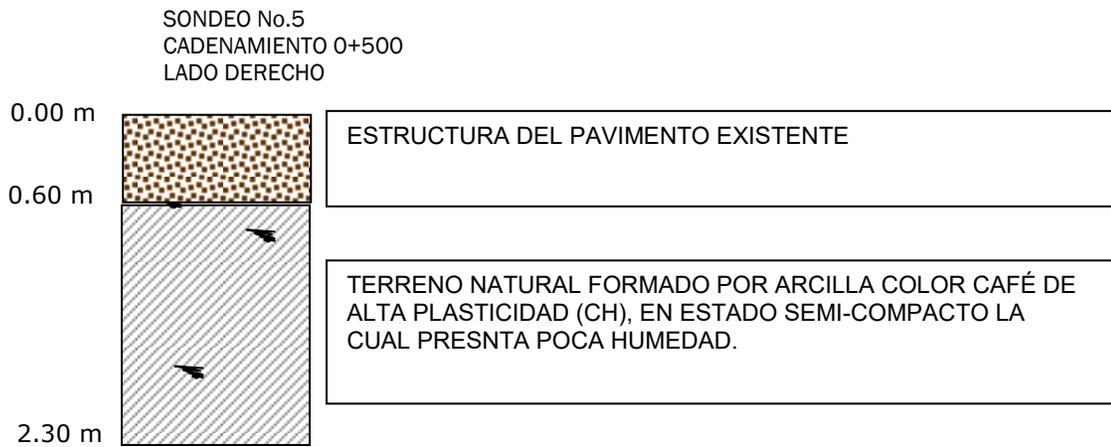
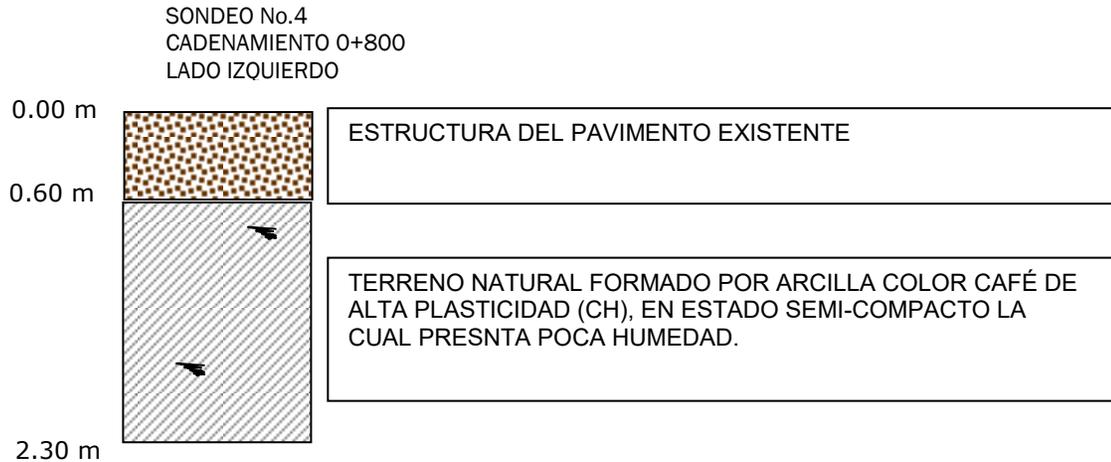


SONDEO No.2
CADENAMIENTO 1+500
LADO IZQUIERDO



SONDEO No.3
CADENAMIENTO 1+100
LADO DERECHO





UNA VEZ REALIZADOS LOS SONDEOS SE PROCEDIÓ A TOMAR MUESTRAS ALTERADAS DE LOS ESTRATOS DETECTADOS COMO SON REVESTIMIENTO Y TERRENO NATURAL



DURANTE LA EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE LOS SONDEOS NO SE DETECTO LA PRESENCIA DE NIVELES FREÁTICOS.

PARA LA APLICACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO ES NECESARIO SEÑALAR QUE EL MUESTREO SE REALIZO EL DIA 5 DE ABRIL DEL 2006, SIENDO UNA EPOCA DE ESTIAJE EN ESA ZONA.

EL MUESTREO CONSISTIRÁ EN LA OBTENCIÓN DE UNA PORCIÓN DEL MATERIAL CON EL QUE SE PRETENDE CONSTRUIR UNA ESTRUCTURA TERREA O BIEN DEL MATERIAL QUE YA FORMA PARTE DE LA MISMA, DE TAL MANERA QUE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PORCIÓN OBTENIDA SEAN REPRESENTATIVAS DEL CONJUNTO. EL MUESTREO ADEMÁS, INCLUYE LAS OPERACIONES DE ENVASE, IDENTIFICACIÓN Y TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS.

EL TIPO DE MUESTRA QUE SE REALIZO EN ESTE CASO ES DEL TIPO: ALTERADAS

MUESTRAS ALTERADAS.- SON AQUELLAS QUE SON CONSTITUIDAS POR EL MATERIAL DISGREGADO O FRAGMENTADO EN LAS QUE SE TOMAN PRECAUCIONES ESPECIALES PARA CONSERVAR LAS CARACTERÍSTICAS DE ESTRUCTURA Y HUMEDAD; NO OBSTANTE, EN ALGUNAS OCASIONES CONVIENE CONOCER EL CONTENIDO DE AGUA ORIGINAL DEL SUELO, PARA LO CUAL LAS MUESTRAS SE ENVASAN Y TRANSPORTAN EN FORMA ADECUADA.

LAS MUESTRAS ALTERADAS DE SUELOS PODRÁN OBTENERSE EN UNA EXCAVACIÓN, DE UN FRENTE, YA SEA DE CORTE O DE UN BANCO, O BIEN, DE PERFORACIONES LLEVADAS A PROFUNDIDAD CON HERRAMIENTAS ESPECIALES. LAS MUESTRAS DEBERÁN SER REPRESENTATIVAS DE CADA CAPA QUE SE ATRAVIESE, HASTA LLEGAR A UNA PROFUNDIDAD QUE PUEDE CORRESPONDER AL NIVEL MAS BAJO DE LA EXPLOTACIÓN, AL NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS O AQUEL EN LA CUAL SEA NECESARIO EXTENDER EL ESTUDIO.



EL PESO MÍNIMO DE LA MUESTRA SERÁ DE 40 KG. QUE ES LA CANTIDAD DE SUELO QUE COMÚNMENTE SE REQUIERE PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE MATERIALES DE TERRACERÍAS; ESTA CANTIDAD DEBERÁ OBTENERSE DE UNA MUESTRA REPRESENTATIVA MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE CUARTEO. EL ESPACIAMIENTO DE LOS SONDEOS Y EL NÚMERO DE MUESTRAS QUE SE TOMEN DEBERÁN ESTAR DE ACUERDO CON LA HOMOGENEIDAD DEL SUELO Y EL TIPO DE ESTUDIO QUE SE TRATE. EN SUELOS QUE PRESENTEN POCAS VARIACIONES EN SUS CARACTERÍSTICAS, EL ESPACIAMIENTO DE LOS SONDEOS SERÁ MAYOR QUE LOS SUELOS HETEROGÉNEOS. IGUALMENTE EN LOS ESTUDIOS PRELIMINARES EL ESPACIAMIENTO SERÁ MAYOR QUE EN ESTUDIOS DEFINITIVOS.

EN PRÉSTAMOS LATERALES CONTINUOS Y EN PRÉSTAMOS DE BANCO DENTRO DEL DERECHO DE VÍA, QUE CONTENGAN MATERIALES HOMOGÉNEOS, SE RECOMIENDA QUE LOS SONDEOS SE HAGAN A DISTANCIAS NO MAYORES DE 250 MTS. Y A LA PROFUNDIDAD SUFICIENTE PARA DEFINIR EL ESPESOR DEL MATERIAL APROVECHABLE, EN EL CASO DE BANCOS LOCALIZADOS FUERA DEL DERECHO DE VÍA, SE RECOMIENDA HACER UN SONDEO POR CADA 1600 M² DE SUPERFICIE DE ACUERDO CON EL VOLUMEN REQUERIDO, FORMANDO UNA CUADRICULA.

TRATÁNDOSE DE CORTES SE RECOMIENDA HACER 3 SONDEOS COMO MÍNIMO, EN EL SENTIDO DEL CADENAMIENTO QUE ABARQUE EL ANCHO DE LA TERRACERÍA. LAS HERRAMIENTAS Y MATERIALES QUE SE EMPLEAN EN LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS ALTERADAS SON: PICOS, PALAS, BARRETAS, POSTEADORAS, BARRETAS HELICOIDALES, TUBOS GALVANIZADOS PARA EXTENSIONES, LLAVES STILLSON, ESTUFA O LÁMPARA DE SECADO, BROCHAS, BOLSAS DE LONA AHULADA, FRASCOS O CÁPSULAS DE ALUMINIO CON TAPA, CINTA MÉTRICA DE LIENZO DE 20 M., CORDEL, BREA, PARAFINA Y CINTA ADHESIVA.

LOS PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO, DE ACUERDO CON EL LUGAR DONDE SE OBTENGAN LAS PORCIONES REPRESENTATIVAS SERÁN COMO SIGUE:



LAS MUESTRAS SUPERFICIALES SE TOMARÁN A PROFUNDIDADES VARIABLES DEL ORDEN DE 1 M., ESTE MUESTREO PUEDE SER APLICABLE PARA LOS ESTUDIOS DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN Y ALGUNOS PRÉSTAMOS O BANCOS.

EN ESTE CASO SE ELIMINAN PRIMERAMENTE LOS MATERIALES EXTRAÑOS QUE EXISTAN EN LA ZONA ELEGIDA Y CUANDO SEA NECESARIO TAMBIÉN SE DESCARTARÁ LA PARTE SUPERFICIAL INTEMPERIZADA O CON UN ALTO CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.

PARA EL MUESTREO A MAYOR PROFUNDIDAD QUE EL SEÑALADO ANTERIORMENTE SE EXCAVA UN POZO A CIELO ABIERTO Y SE MUESTREAN LOS ESTRATOS EN UNA DE LAS PAREDES DEL MISMO O TAMBIÉN SE PUEDE OBTENER LA MUESTRA O MUESTRAS DEL MATERIAL QUE SE EXTRAIGA AL HACER UNA PERFORACIÓN CON HERRAMIENTAS ESPECIALES. ESTOS PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO SON LOS QUE COMÚNMENTE SE EMPLEAN PARA EL ESTUDIO DE BANCOS DE MATERIALES, DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES Y DEL TERRENO EN GENERAL CUANDO SU NATURALEZA SE LOS PERMITA.

LAS MUESTRAS ALTERADAS SE ENVASARÁN EN BOLSAS DE LONA, CERRÁNDOLAS PARA EVITAR PÉRDIDAS O CONTAMINACIÓN Y LLEVARÁN TARJETAS DE IDENTIFICACIÓN TANTO EN SU INTERIOR COMO EN SU EXTERIOR, ATADAS EN LA PARTE EXTERIOR. CUANDO SE REQUIERE DETERMINAR EL CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO, SE ENVASAN EN CÁPSULAS DE ALUMINIO O BIEN EN FRASCOS DE TAMAÑO ADECUADO Y QUE NO PROPICIEN LA EVAPORACIÓN DEL AGUA, CUYAS TAPAS QUEDARÁN SELLADAS PERFECTAMENTE, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CINTA ADHESIVA O DE UN BAÑO DE BREA Y PARAFINA. EL TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS SE HARÁ EN FORMA CUIDADOSA SIN EXPONERLAS A SUFRIR ALTERACIONES Y EN EL CASO DE USAR FRASCOS DE VIDRIO, A FIN DE QUE SE ROMPAN, SE EMPACARÁN EN CAJAS DE MADERA RELLENANDO LOS ESPACIOS LIBRES CON ASERRÍN, PAPEL, PAJA O SIMILAR.





TOMA DE MUESTRAS
ALTERADAS



CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE LABORATORIO

PARA QUE NUESTRAS OBRAS TENGAN UNA MAYOR CALIDAD Y A SU VEZ MÁS VIDA ÚTIL, HAY QUE ANALIZAR EL TERRENO Y LOS MATERIALES CON LOS QUE NOS VAMOS A APOYAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE NUESTRA OBRA.

LA FINALIDAD DE ANALIZAR EL MATERIAL Y HACER LAS PRUEBAS ES CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES QUE SE EMPLEAN EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, PARA VERIFICAR SI CUMPLEN CON LAS NORMAS ESTABLECIDAS POR LA SECRETARÍA.

4.1 LAS PRINCIPALES PRUEBAS DE LABORATORIO A QUE SE SOMETEN LOS MATERIALES, PARA SU ANÁLISIS SON LAS SIGUIENTES:

1. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO
2. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA
3. DENSIDAD
4. ABSORCIÓN
5. VALOR CEMENTANTE
6. EQUIVALENTE DE ARENA
7. LÍMITES DE CONSISTENCIA
8. PRÓCTOR ESTÁNDAR
9. PORTER ESTÁNDAR
10. VALOR RELATIVO DE SOPORTE
11. PESO VOLUMÉTRICO SECO DEL LUGAR Y % DE COMPACTACIÓN

4.2. PRUEBAS A QUE SE SOMETEN LOS MATERIALES

4.2.1. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO.



LA DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL MATERIAL EN ESTADO SUELTO CONSISTE EN OBTENER LA RELACIÓN DEL PESO DE LOS SÓLIDOS DEL MATERIAL Y EL VOLUMEN TOTAL DEL MISMO, CUANDO SU ESTRUCTURA NATURAL HA SIDO ALTERADA POR ALGÚN PROCESO ARTIFICIAL COMO EL DE EXTRACCIÓN, DISGREGACIÓN, CRIBADO, TRITURADO, ETC., Y QUE SE HA DEPOSITADO O ALMACENADO SIN SOMETERLO A NINGÚN TRATAMIENTO ESPECIAL DE COMPACTACIÓN.

EQUIPO:

- 1.- RECIPIENTE DE LÁMINA GALVANIZADA DE FORMA CILÍNDRICA DE 10L, CON DIÁMETRO INTERIOR DE 25CM Y DE PESO CONOCIDO.
- 2.- BALANZA CON CAPACIDAD MÍNIMA DE 20KG Y APROXIMACIÓN DE 5GR.
- 3.- REGLA METÁLICA DE 30CM DE LONGITUD.
- 4.- CUCHARÓN DE 20CM DE LARGO, 11CM DE ANCHO Y 10CM DE ALTURA, FORMANDO UN PARALELEPÍPEDO RECTANGULAR CON SÓLO CUATRO CARAS, CUYA CARA MENOR LLEVA ACOPLADO UN MANGO METÁLICO DE SECCIÓN CIRCULAR DE 13CM DE LARGO.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- SE MEZCLA TODO EL MATERIAL DE LA MUESTRA HASTA QUE PRESENTE UN ASPECTO HOMOGÉNEO, TRASPALÉÁNDOLO DE UN LUGAR A OTRO, APROXIMADAMENTE CUATRO VECES, SOBRE UNA SUPERFICIE SENSIBLEMENTE HORIZONTAL, LISA Y LIMPIA.
- 2.- UNA VEZ HOMOGENEIZADA LA MUESTRA, SE FORMA UN CONO, DEPOSITANDO CON LA PALA EL MATERIAL EN EL VÉRTICE DEL MISMO, PARA QUE SE ACOMODE POR SÍ SOLO Y PROCURANDO A LA VEZ QUE LA DISTRIBUCIÓN DE HAGA UNIFORMEMENTE.





FOTO 1.- FORMA DE CUARTEAR EL MATERIAL.

3.- SE FORMA UN CONO TRUNCADO, ENCAJANDO LA PALA EN EL VÉRTICE DEL CONO ORIGINAL Y HACIÉNDOLA GIRAR ALREDEDOR DE SU EJE CON EL FIN DE IR DESALOJANDO EL MATERIAL HACIA LA PERIFERIA, HASTA DEJARLO CON UNA ALTURA DE 15 A 20 CM.



FOTO 2.- CONO TRUNCADO PARA POSTERIORMENTE SEPARARLO EN CUADRANTES.



4.- ENSEGUIDA, EL CONO TRUNCADO SE SEPARA EN CUADRANTES SENSIBLEMENTE IGUALES, CON LA AYUDA DE UNA REGLA DE DIMENSIONES ADECUADAS AL VOLUMEN DE LA MUESTRA.



FOTO 3.- SE ELIMINAN DOS OPUESTOS Y SE TRABAJA CON LOS OTROS.

- 5.- SE TOMA MATERIAL DE DOS LADOS OPUESTOS Y UTILIZANDO EL CUCHARÓN SE DEJA CAER EL MATERIAL DENTRO DEL RECIPIENTE A UNA ALTURA DE 20 CM, HASTA LLENARLO, EVITANDO SU REACOMODO POR MOVIMIENTOS INDEBIDOS. POSTERIORMENTE SE ENRAZA EL MATERIAL UTILIZANDO LA REGLA DE 30 CM.
- 6.- SE PESA EL RECIPIENTE CON EL MATERIAL Y SE REGISTRA SU PESO.
- 7.- SE PROCEDE A CALCULAR EL PVSS CON LA FORMULA:

$$\text{Fórmula: } PVSS = \frac{PESONETO}{VOLÚMEN} * 1000$$

PVSS: PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO KG/M³
PESO BRUTO: PESO DEL RECIPIENTE MAS EL MATERIAL GR.
TARA: PESO DEL RECIPIENTE GR.



PESO NETO: PESO DEL MATERIAL SIN RECIPIENTE GR.

VOLÚMEN: VOLÚMEN DEL RECIPIENTE CM³

4.2.2. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

ESTA PRUEBA PERMITE DETERMINAR LA COMPOSICIÓN POR TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE UN SUELO, MEDIANTE SU PASO POR UNA SERIE DE MALLAS CON ABERTURAS DETERMINADAS.

LA SUCESIÓN DE TAMAÑOS OBTENIDA MEDIANTE EL EMPLEO DE MALLAS, NOS DA UNA IDEA DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA ÚNICAMENTE EN DOS DIMENSIONES, POR LO QUE LAS CURVAS RESULTANTES SOLO QUEDARAN REPRESENTATIVAS DE MATERIALES CONSTITUIDOS POR PARTÍCULAS DE FORMA EQUIDIMENSIONAL, SI LAS PARTÍCULAS DE UN MATERIAL TIENEN FORMA LAMINAR O ACICULAR, ES DECIR, DE LAJAS O AGUJAS, RESPECTIVAMENTE, LOS RESULTADOS QUE SE OBTENGAN NO SERÁN REPRESENTATIVOS DE LOS TAMAÑOS REALES DEL MATERIAL Y, EN CONSECUENCIA, DE SU COMPORTAMIENTO. ASÍ MISMO LA CURVA GRANULOMÉTRICA NO DARÁ UNA IDEA CORRECTA DE LA SUCESIÓN DE TAMAÑOS EN LOS MATERIALES CON PARTÍCULAS DE PESOS ESPECÍFICOS MUY DIFERENTES, EN CUYO CASO SERÁ NECESARIO EFECTUAR LA CORRECCIÓN CORRESPONDIENTE, PARA TRANSFORMAR LOS PORCENTAJES OBTENIDOS EN FUNCIÓN DE PESOS, A PORCENTAJES EN FUNCIÓN DE VOLÚMENES.

LAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DE UN SUELO INFLUYEN EN LA MAYOR O MENOR FACILIDAD PARA LOGRAR UNA COMPACTACIÓN ADECUADA Y TIENEN IMPORTANCIA EN SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO, PRINCIPALMENTE EN LOS SUELOS GRUESOS. GENERALMENTE, LA MAYOR ESTABILIDAD DE UN SUELO SE ALCANZA CUANDO LA CANTIDAD DE VACÍOS ES MÍNIMA Y PARA QUE ESTA CONDICIÓN PUEDA LOGRARSE, SE REQUIERE QUE EL MATERIAL TENGA UNA SUCESIÓN ADECUADA DE TAMAÑOS QUE PERMITA QUE LOS HUECOS



RESULTANTES DEL ACOMODO DE LAS PARTÍCULAS MAYORES, SEAN OCUPADOS POR PARTÍCULAS MENORES Y QUE A SU VEZ, LOS HUECOS QUE DEJEN ESTAS ULTIMAS SEAN OCUPADOS POR PARTÍCULAS MAS FINAS Y ASÍ SUCESIVAMENTE.

EQUIPO:

- 1.- JUEGO DE MALLAS PARA SUELOS GRUESOS (2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", NO. 4 Y CHAROLA).
- 2.- JUEGO DE MALLAS PARA SUELOS FINOS (NO. 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200 Y CHAROLA).
- 3.- BALANZA DE VEINTE (20) KILOGRAMOS DE CAPACIDAD Y UN (1) GRAMO DE APROXIMACIÓN.
- 4.- BALANZA DE DOS (2) KILOGRAMOS DE CAPACIDAD Y CERO PUNTO UN (0.1) GRAMO DE APROXIMACIÓN.
- 5.- HORNO CON TERMOSTATO PARA MANTENER UNA TEMPERATURA CONSTANTE DE CIENTO CINCO MAS MENOS CINCO GRADOS CENTÍGRADOS ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).
- 6.- CHAROLAS DE LÁMINA.
- 7.- CUCHARÓN DE LÁMINA.
- 8.- AGITADOR DE VARILLA METÁLICA DE SEIS (6) MILÍMETROS DE DIÁMETRO Y VEINTE CENTÍMETROS DE LONGITUD.
- 9.- AGITADOR MECÁNICO ROV – TAV, CEPILLOS O BROCHAS, VASO DE ALUMINIO.

PROCEDIMIENTO:

a) PARA SUELOS GRUESOS:

- 1.- DEL MATERIAL QUE SE TRAE DE CAMPO, MEDIANTE CUARTEO SE TOMA UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE 10 A 15 KG.
- 2.- SE HACE PASAR LA MUESTRA A TRAVÉS DE LAS MALLAS PARA SUELOS GRUESOS. PARA EFECTUAR ESTA OPERACIÓN DEBERÁ IMPRIMIRSE A LAS



MALLAS UN MOVIMIENTO VERTICAL Y DE ROTACIÓN HORIZONTAL, PARA MANTENER AL MATERIAL EN CONSTANTE MOVIMIENTO Y PERMITIR QUE LOS TAMAÑOS MENORES PASEN A TRAVÉS DE LAS ABERTURAS CORRESPONDIENTES.



FOTO 4.- JUEGO DE MALLAS PARA REALIZAR LA GRANULOMETRÍA.

3.- SE PESA EL MATERIAL RETENIDO EN CADA MALLA Y SE ANOTA EN LA HOJA DE REGISTRO.

b) PARA SUELOS FINOS:

- 1.- DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA NO. 4 SE TOMAN 200 GRS. DE LA MUESTRA.
- 2.- LA MUESTRA DE SUELO SE COLOCA EN LAS MALLAS PARA SUELOS FINOS ACOMODADAS EN FORMA DECRECIENTE PUESTAS UNA SOBRE OTRA.
- 3.- UNA VEZ COLOCADAS SE HACE VIBRAR DURANTE UN PERIODO DE 10 MIN. EN EL AGITADOR ROV – TAV.





FOTO 5.- JUEGO DE MALLAS EMPLEADO EN LA GRANULOMETRÍA CHICA.

4.- SE PESA TODA LA FRACCIÓN RETENIDA EN CADA MALLA Y SE ANOTA EN LA HOJA DE REGISTRO.

c) ANÁLISIS POR LAVADO:

1.- DE LA FRACCIÓN DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA NO. 4, SE TOMA UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE APROXIMADAMENTE 200GR.; SE PONE A SECAR EN EL HORNO A UNA TEMPERATURA DE 105° C., HASTA PESO CONSTANTE, SE ANOTA ESTE PESO Y EL MATERIAL SE COLOCA EN UN VASO METÁLICO, SE LE AGREGA AGUA HASTA QUEDAR TOTALMENTE CUBIERTO Y SE DEJA SATURAR POR UN TIEMPO APROXIMADO DE 24 HRS.

2.- PASADO EL TIEMPO DE SATURACIÓN SE PROCEDE A SU LAVADO EFECTUÁNDOSE DE LA SIGUIENTE FORMA:

CON AYUDA DE UNA VARILLA, SE AGITA EN FORMA DE OCHOS EL CONTENIDO DEL VASO DURANTE 15 S, PARA FORMAR UNA SUSPENSIÓN.

SE DEJA REPOSAR DICHA SUSPENSIÓN DURANTE 30 SEG. E INMEDIATAMENTE DESPUÉS SE DECANTA SOBRE LA MALLA NO. 200.



PARA FACILITAR EL PASO DE LAS PARTÍCULAS A TRAVÉS DE LA MALLA, SE APLICA SOBRE ÉSTA UN CHORRO DE AGUA A BAJA PRESIÓN.

SE REPITE LA OPERACIÓN DE LAVADO, HASTA QUE EL AGUA DECANTADA SALGA LIMPIA.

EL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA NO. 200 SE REGRESA AL VASO, UTILIZANDO UN POCO DE AGUA, MISMA QUE SE DECANTA AL FINAL DE LA OPERACIÓN, PERO EVITANDO EL ARRASTRE DE PARTÍCULAS.

SE SECA EL MATERIAL DENTRO DEL VASO METÁLICO Y SE PROCEDE A SU DISGREGACIÓN EVITANDO CUALQUIER PÉRDIDA DE MATERIAL. DESPUÉS SE PROCEDERÁ A SU TAMIZADO.

SE ANOTA EL PESO RETENIDO EN CADA UNA DE LAS MALLAS Y SE PROCEDE AL CÁLCULO DE LA GRANULOMETRÍA DEBIÉNDOSE TOMAR EN CUENTA EL MATERIAL ELIMINADO POR EL LAVADO A TRAVÉS DE LA MALLA NO. 200 POR DIFERENCIA DE PESOS.

SE PROCEDE AL CÁLCULO DE LOS PORCENTAJES DE GRAVA G (%), ARENA S (%) Y FINOS F (%).

EL PORCENTAJE DE GRAVA G (%) SE OBTIENE RESTANDO AL 100% EL PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA NO. 4.

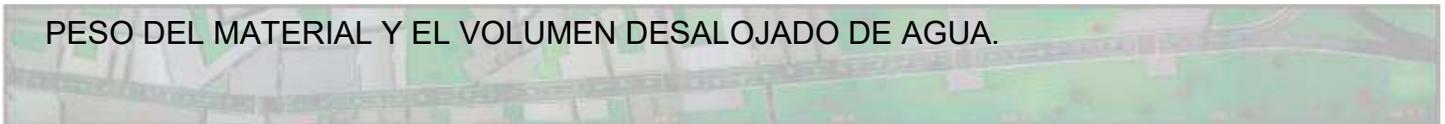
EL PORCENTAJE DE ARENA S (%) RESULTA DE LA DIFERENCIA DEL 100% MENOS LA SUMA DEL PORCENTAJE DE GRAVA Y FINOS.

EL PORCENTAJE DE FINOS F (%) ES EL QUE PASA LA MALLA NO. 200.

DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA SE OBTIENEN LOS VALORES DE D10, D30 Y D60, PARA CALCULAR LOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD CU Y DE CURVATURA CC, QUE SE EMPLEAN PARA JUZGAR LA GRADUACIÓN DEL MATERIAL.

4.2.3. DENSIDAD

LA DENSIDAD RELATIVA APARENTE ES LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE EL PESO DEL MATERIAL Y EL VOLUMEN DESALOJADO DE AGUA.



EQUIPO:

- 1.- MUESTRA REPRESENTATIVA DE GRAVA.
- 2.- PROBETA GRADUADA.
- 3.- BASCULA DE 0.1GR. DE APROXIMACIÓN.
- 4.- FRANELA.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- SE TOMA UNA MUESTRA DE GRAVA, DE LA QUE SE RETIENE EN LA MALLA 3/8" Y QUE PASA 3/4", DE APROXIMADAMENTE 300 GR. Y DE DEJA SATURANDO DURANTE 24 HRS.
- 2.- A CONTINUACIÓN SE EXTRAE DEL AGUA Y SE SECA SUPERFICIALMENTE CON UNA FRANELA, SE PESA Y SE DETERMINA EL PESO DE LA GRAVA SATURADA.



FOTO 6.- SECADO SUPERFICIAL DEL ESPÉCIMEN.

- 3.- SE COLOCA EL MATERIAL EN LA PROBETA CON AGUA, SE HACE GIRAR Y SE LE DAN PEQUEÑOS GOLPES CONTRA LA MESA PARA QUE EL MATERIAL SE ACOMODE Y ELIMINAR LOS VACÍOS ENTRE LAS PARTÍCULAS. SE DETERMINA EL VOLUMEN POR DIFERENCIA DE LECTURAS EN LA PROBETA GRADUADA.



FINALMENTE SE PROCEDE AL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DIVIDIENDO EL PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO ENTRE EL VOLUMEN DESALOJADO.

4.2.4. ABSORCIÓN

EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES DETERMINAR LA CAPACIDAD MÁXIMA DE ABSORCIÓN DE AGUA DEL MATERIAL DURANTE 24 HRS. EXPRESÁNDOLA EN PORCENTAJE RESPECTO A SU PESO SECO.

EQUIPO:

- 1.- MUESTRA REPRESENTATIVA DE GRAVA.
- 2.- MALLA $\frac{3}{4}$ "
- 3.- MALLA $\frac{3}{8}$ "
- 4.- VASO DE ALUMINIO.
- 5.- CHAROLA.
- 6.- FRANELA.
- 7.- PARRILLA.
- 8.- BASCULA DE 0.1 GRS DE APROXIMACIÓN.
- 9.- ESPEJO.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- DE UNA MUESTRA TOMADA POR CUARTEO TOMAMOS APROXIMADAMENTE TRESCIENTOS CINCUENTA GRAMOS (350).
- 2.- LO CRIBAMOS Y TOMAMOS LA PORCIÓN DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA DE $\frac{3}{4}$ " Y SE RETIENE EN $\frac{3}{8}$ ".
- 3.- SE SATURA EL MATERIAL A UNA TEMPERATURA DE 15 A 25° C. DURANTE UN PERÍODO DE 24 HRS.



4.- TRANSCURRIDO EL TIEMPO SECAMOS LA MUESTRA SUPERFICIALMENTE CON LA FRANELA HÚMEDA Y REGISTRAMOS SU PESO.

5.- POSTERIORMENTE COLOCAMOS EL MATERIAL EN LA CHAROLA PARA SECARLO EN LA PARRILLA HASTA ELIMINAR TODA EL AGUA, PARA VERIFICAR QUE EL MATERIAL ESTA COMPLETAMENTE SECO COLOCAMOS UN ESPEJO Y SI NO EMPAÑA SE RETIRA.

SECO EL MATERIAL LO DEJAMOS ENFRIAR PARA PODER PESARLO Y REGISTRAR SU PESO, PARA PODER DETERMINAR EL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.

$$ABSORCIÓN = \frac{(WW - WS)}{WS} (100)$$

DONDE:

ABSORCIÓN, EN PORCIENTO (%).

WW: PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA, EN GRAMOS.

WS: PESO DE LA MUESTRA SECA, EN GRAMOS.

4.2.5. VALOR CEMENTANTE

ESTA PRUEBA TIENE COMO PRINCIPAL OBJETIVO CONOCER LA CEMENTACIÓN O COHESIÓN DEL SUELO SIN CONFINAR, QUE ES LA RESISTENCIA EXPRESADA EN (KG / CM²) QUE TIENE EL MATERIAL SECO Y COMPACTADO A LA APLICACIÓN DE UNA CARGA DINÁMICA.

EQUIPO:

1. MOLDE METÁLICO CUADRADO DE (7.62 CM) DE LADO Y (11.43 CM) DE LARGO.
2. PISÓN DE (900 GRS) CON GUÍA DE (40 CM).
3. ESPÁTULA.



4. PLACA DE (1.27 CM DE ESPESOR).
5. PRENSA.
6. HORNO.

PROCEDIMIENTO:

1. SE TOMAN APROXIMADAMENTE TRES 3 KILOGRAMOS DEL MATERIAL CRIBADO QUE PASA LA MALLA NO. 4, LE INCORPORAMOS AGUA, DE TAL MANERA DE DEJARLO LO MAS PRÓXIMO A SU HUMEDAD ÓPTIMA.
2. PROCEDEREMOS A LLENAR EL MOLDE METÁLICO EN TRES CAPAS, A CADA UNA DE ESTAS CAPAS DE MATERIAL SE LE DAN 15 GOLPES CON EL PISÓN DE NOVECIENTOS (900 GRS) DEJÁNDOLO CAER POR LA GUÍA A UNA ALTURA DE 40 CM.
3. UNA VEZ TERMINADAS LAS TRES CAPAS RETIRAMOS EL MOLDE TENIENDO LA PRECAUCIÓN DE NO FRACTURAR EL ESPÉCIMEN (POR LO REGULAR SE ELABORAN 3 ESPECIMENES PARA PROMEDIAR EL VALOR OBTENIDO DE CADA UNO DE ELLOS).
4. VERIFICANDO QUE LOS ESPECIMENES NO ESTÉN FRACTURADOS LOS METEMOS AL HORNO POR (24 HRS) A UNA TEMPERATURA DE CIENTO CINCO (105) GRADOS CENTÍGRADOS.
5. TRANSCURRIDO EL TIEMPO SACAMOS LOS ESPECIMENES DEL HORNO DEJÁNDOLOS ENFRIAR APROXIMADAMENTE (30 MINUTOS).
6. LES APLICAMOS CARGA HASTA QUE SE FRACTUREN, LOS RESULTADOS OBTENIDOS SE PROMEDIAN PARA ASÍ CONOCER EL VALOR CEMENTANTE. DESPUÉS SE LLENA LA HOJA DE REGISTRO CORRESPONDIENTE.

$$\text{VALOR CEMENTANTE} = \frac{\text{CARGA}}{\text{ÁREA}}$$

DONDE:



VALOR CEMENTANTE, EN KGS / CMS².

CARGA, EN KGS.

ÁREA, EN CMS²



FOTO 7.- ESPÉCIMEN SOMETIDO A CARGA DE RUPTURA.

4.2.6. EQUIVALENTE DE ARENA

EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES DETERMINAR LAS PROPORCIONES VOLUMÉTRICAS RELATIVAS DE LAS PARTÍCULAS GRUESAS DE UN SUELO RESPECTO A LOS FINOS PLÁSTICOS QUE CONTIENE EMPLEANDO UN PROCEDIMIENTO QUE AMPLIFICA EL VOLUMEN DE LOS MATERIALES FINOS PLÁSTICOS.

EQUIPO:

1. PROBETAS DE LUCITA O ACRÍLICO GRADUADAS EN DÉCIMOS DE PULGADA.
2. TAPÓN DE HULE.
3. TUBO IRRIGADOR.
4. UN TRAMO DE MANGUERA.
5. UN PIZÓN METÁLICO DE 1000 GR.



6. CAPSULAS METÁLICAS DE 85 ML.
7. EMBUDO.
8. CRONOMETRO.
9. DOS FRASCOS DE 3.875 L.
10. MALLA NO. 4.
11. PAPEL FILTRO NO. 12.
12. SOLUCIÓN DE RESERVA.
13. SOLUCIÓN DE TRABAJO.

PROCEDIMIENTO:

1. PRIMERAMENTE SE PREPARA LA SOLUCIÓN DE RESERVA: EN UN FRASCO SE DISUELVEN 454 GR. DE CLORURO DE CALCIO EN 1.89 L DE AGUA DESTILADA, SE DEJA ENFRIAR LA SOLUCIÓN Y SE HACE PASAR A TRAVÉS DEL PAPEL FILTRO, SE LE AGREGAN 47 GR. DE FORMALDEHÍDO EN SOLUCIÓN VOLUMÉTRICA AL 40% Y 2050 GR. DE GLICERINA USP (NORMALIZADA), MEZCLANDO EL TOTAL, AGREGANDO AGUA DESTILADA HASTA COMPLETAR LOS 3.875 L Y AGITANDO TODA LA SOLUCIÓN PARA UNIFORMIZARLA.
2. ENSEGUIDA SE PREPARA LA SOLUCIÓN DE TRABAJO: EN UN FRASCO DE 3.875 L SE COLOCAN 85 CM³ DE LA SOLUCIÓN DE RESERVA COMPLETANDO CON AGUA DESTILADA HASTA EL NIVEL DE 3.875 L.
3. SE TOMA UNA MUESTRA DE MATERIAL DE APROXIMADAMENTE 500 GR. QUE PASA LA MALLA NO. 4, PROCURANDO QUE NO SE PIERDAN FINOS.
4. SE LLENA LA CAPSULA Y SE GOLPEA PARA ACOMODAR EL MATERIAL Y SE ENRASA.
5. PREVIAMENTE EN LAS PROBETAS SE VERTIRÁ SOLUCIÓN DE TRABAJO HASTA UNA ALTURA DE 4 ± 0.1 DE PULG. Y SE COLOCA LA MUESTRA EN LA PROBETA PREVIAMENTE PREPARADA USANDO UN EMBUDO PARA EVITAR PÉRDIDAS DE MATERIAL. DÉJESE REPOSAR 10 ± 1 MINUTO PROCURANDO NO MOVER LA PROBETA EN ESTE LAPSO DE TIEMPO.



6. A CONTINUACIÓN COLÓQUESE UN TAPÓN DE HULE A LA PROBETA INCLINÁNDOLA PARA QUE AFLOJE EL MATERIAL DEL FONDO Y AGÍTESE CON UNA CARRERA DE 20 CM.(8PULG.) HASTA COMPLETAR 90 CICLOS EN 30 SEG.



FOTO 8.- MUESTRAS DEL EQUIVALENTE DE ARENA.

7. SE INTRODUCE EL TUBO IRRIGADOR, SE PICA EL MATERIAL Y CON EL MISMO SE BAJA EL MATERIAL QUE QUEDÓ EN LAS PAREDES DE LA PROBETA, SE LLENA CON SOLUCIÓN DE TRABAJO HASTA LA MARCA DE 15 Y SE DEJA REPOSAR 20 MIN. AL TERMINO DE ESTE TIEMPO EN LA ESCALA DE LA PROBETA SE LEE EL NIVEL SUPERIOR DE LA ARCILLA EN SUSPENSIÓN LA CUAL SE DENOMINARÁ LECTURA DE ARCILLA.
8. SE INTRODUCE EL PIZON LENTAMENTE EN LA PROBETA AJUSTANDO HASTA QUE EL PIZON SE APOYE EN LA ARENA, EL NIVEL DONDE SE APOYA EN LA ARENA SE DENOMINARÁ LECTURA DE ARENA.

LA PRUEBA SE REALIZARÁ POR TRIPLICADO Y SE HARÁ UN PROMEDIO DE LOS RESULTADOS. EL EQUIVALENTE DE ARENA RESULTA DE DIVIDIR LA LECTURA DE ARENA ENTRE LA LECTURA DE ARCILLA Y MULTIPLICARLO POR CIEN.



4.2.7. LÍMITES DE CONSISTENCIA

LOS MÉTODOS DE PRUEBA A QUE SE REFIERE ESTA CLÁUSULA, TIENE POR OBJETO CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DE PLASTICIDAD DE LA PORCIÓN DE SUELO QUE PASA LA MALLA NO. 0.425, CUYOS RESULTADOS SE UTILIZAN PRINCIPALMENTE PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.

DE ACUERDO CON SU CONTENIDO DE AGUA, LOS SUELOS PUEDEN ESTAR EN ALGUNOS DE LOS 5 ESTADOS DE CONSISTENCIA:

ESTADO LÍQUIDO, ES EL QUE PRESENTAN LOS SUELOS CUANDO MANIFIESTAN LAS PROPIEDADES DE UNA SUSPENSIÓN.

ESTADO SEMILÍQUIDO, CUANDO LOS SUELOS TIENEN EL COMPORTAMIENTO DE UN FLUIDO VISCOSO.

ESTADO PLÁSTICO, EN EL CUAL LOS SUELOS PRESENTAN LA PROPIEDAD QUE LES PERMITE, BAJO CIERTAS CONDICIONES DE HUMEDAD, MANTENER LA DEFORMACIÓN PRODUCIDA POR UN ESFUERZO QUE LES HA SIDO APLICADO EN FORMA RÁPIDA SIN AGRIETARSE, DESMORONARSE O SUFRIR CAMBIOS VOLUMÉTRICOS APRECIABLES.

ESTADO SEMISÓLIDO, EN EL QUE LA APARIENCIA DE LOS SUELOS ES LA DE UN SÓLIDO; SIN EMBARGO, AL SECARSE DISMINUYEN DE VOLUMEN.

ESTADO SÓLIDO, EN EL QUE EL VOLUMEN DE LOS SUELOS NO VARÍA AÚN CUANDO SE LES SOMETA A SECADO.

LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA FUERON DETERMINADOS POR ATTERBERG LOS CUALES LOS DELIMITÓ POR LAS FRONTERAS:

LIMITE LIQUIDO, ES EL CONTENIDO DE AGUA QUE MARCA LA FRONTERA ENTRE LOS ESTADOS SEMILÍQUIDO Y PLÁSTICO.

LIMITE PLÁSTICO, ES EL CONTENIDO DE AGUA QUE MARCA LA FRONTERA ENTRE LOS ESTADOS PLÁSTICO Y SEMISÓLIDO.



LÍMITE DE CONTRACCIÓN, ES EL CONTENIDO DE AGUA QUE MARCA LA FRONTERA ENTRE LOS ESTADOS SEMISÓLIDO Y SÓLIDO.

PARA DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS SE UTILIZAN EL LÍMITE LIQUIDO, EL ÍNDICE PLÁSTICO Y LA CONTRACCIÓN LINEAL.

ÍNDICE PLÁSTICO, ES LA DIFERENCIA ARITMÉTICA ENTRE EL LÍMITE LÍQUIDO, EL ÍNDICE PLÁSTICO Y LA CONTRACCIÓN LINEAL. $(IP = LL - LP)$.

CONTRACCIÓN LINEAL, ES LA REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DEL MISMO, MEDIDA EN UNA DE SUS DIMENSIONES Y EXPRESADA EN PORCENTAJE DE LA DIMENSIÓN ORIGINAL.

EQUIPO:

1. COPA DE CASAGRANDE Y RANURADOR.
2. CÁPSULAS PETRI.
3. AGUA DESTILADA.
4. BALANZAS DE (0.01 GRS) Y (1 GRS) DE APROXIMACIÓN.
5. PLACA DE VIDRIO.
6. HORNO SECADOR.
7. FRANELA.
8. VIDRIOS DE RELOJ.
9. CHAROLAS DE EVAPORACIÓN.
10. ESPÁTULA.
11. CALIBRADOR VERNIER.
12. CÁPSULAS DE PORCELANA.
13. GOTERO.

PROCEDIMIENTO:

a) DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO (LL).



- 1.- EL MATERIAL QUE SE TRAE DEL CAMPO SE SECA A TEMPERATURA AMBIENTE Y SE DISGREGA.
- 2.- UNA VEZ QUE EL MATERIAL SE HA SECADO SE CRIBA POR LA MALLA NO. 0.425 Y SE TOMA UNA CÁPSULA DE PORCELANA DE 250 A 300 GRS. DEL MATERIAL QUE PASO LA MALLA, LO SATURAMOS Y LO DEJAMOS REPOSAR (24 HRS.). TRANSCURRIDO EL TIEMPO AGREGAMOS AGUA DESTILADA Y SE MEZCLA HASTA FORMAR UNA PASTA HOMOGÉNEA.



FOTO 9.- EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO.

- 3.- SE INICIAN LOS TANTEOS EN LA COPA DE CASAGRANDE DÁNDOLE AL SUELO DIFERENTES HUMEDADES. SE DEBEN HACER CINCO (5) TANTEOS Y OBTENER LAS HUMEDADES DE CADA UNO DE ELLOS.
- 4.- SE COLOCA LA PASTA EN LA COPA DE CASAGRANDE, LLENÁNDOLA A LA MITAD Y ALISÁNDOLA PARA OBTENER UN ESPESOR MÁXIMO DE (1 CM). SE RANURA AL CENTRO CON UN RANURADOR DE DIMENSIONES DE (11 MM), EN LA PARTE SUPERIOR Y (2 MM) EN LA PARTE INFERIOR. SE DEBE RANURAR LA PASTA SEGÚN EL EJE DE SIMETRÍA DEL APARATO, MANTENIENDO EL RANURADOR PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE DE LA COPA.



- 5.- UNA VEZ LLENA LA COPA RANURADO EL MATERIAL, EL GOLPEO SE HACE GIRANDO LA MANIVELA A LA VELOCIDAD DE 2 REV/SEG, Y CONTAR EL NUMERO DE GOLPES NECESARIOS PARA QUE LA RANURA CIERRE ($\frac{1}{2}$ ") APROXIMADAMENTE, LA RANURA DEBE CERRAR POR EL FLUJO DEL SUELO Y NO POR DESLIZAMIENTO DE LA PASTA RESPECTO A LA COPA.
- 6.- EN LA CÁPSULA DE VIDRIO DE RELOJ, SE EXTRAE UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE APROXIMADAMENTE (10 GRS) DEL CENTRO DE LA COPA, CERCA DE DONDE CERRÓ LA RANURA PARA OBTENER LA HUMEDAD, SE PESA LA CÁPSULA CON MATERIAL HÚMEDO AL CENTÉSIMO DE GRAMO (0.01 GRS). SE DEJA SECAR EL HORNO DURANTE. (24 HRS.), A TEMPERATURA DE 110° C.
- 7.- UNA VEZ OBTENIDOS LOS RESULTADOS DE TODOS LOS TANTEOS PROCEDEREMOS A ANOTARLOS EN LAS HOJAS DE REGISTRO, PARA ASÍ GRAFICAR LA CURVA DE FLUIDEZ, QUE COMPRENDE EN EL EJE DE LAS ABSCISAS EN ESCALA LOGARÍTMICA EL NUMERO DE GOLPES, Y EN EL EJE DE LAS ORDENADAS EN ESCALA ARITMÉTICA LOS CONTENIDOS DE AGUA; DE LA CUAL EL LIMITE LIQUIDO (LL) SERÁ EL CONTENIDO DE AGUA CORRESPONDIENTE A 25 GOLPES.

*CAUSAS MAS FRECUENTES DE ERROR AL EFECTUAR ESTA PRUEBA.

- 1.- QUE AL EFECTUAR LA PRUEBA LA RANURA SE CIERRE DEBIDO AL DESLIZAMIENTO DEL SUELO SOBRE LA COPA Y NO AL FLUJO PROVOCADO POR LOS GOLPES.
- 2.- PERDIDA DE AGUA POR EVAPORACIÓN EN LA MUESTRA, DEBIDO A QUE LA PRUEBA NO SE REALICE EN LUGARES FRESCOS Y EXENTOS DE CORRIENTES DE AIRE.
- 3.- QUE LA CAÍDA DE LA COPA NO SE EFECTUÉ A UNA VELOCIDAD UNIFORME DE DOS (2) GOLPES POR SEGUNDO.



4.- QUE LA COPA Y EL RANURADOR NO ESTÉN LIMPIOS ANTES DE CADA DETERMINACIÓN.

5.- QUE SE INCORPORE MATERIAL SECO PARA REDUCIR LA HUMEDAD DE LA MUESTRA DE PRUEBA, O BIEN QUE NO SE EFECTUÉ UN AMASADO CORRECTO DE ESTA.

b) DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (LP).

1.- SE AMASAN APROXIMADAMENTE (15 GRS) DE SUELO HÚMEDO. DE LOS CUALES CON LA PALMA DE LA MANO FORMAMOS ROLLITO DE (1/8") ES DECIR (3 MM APROXIMADAMENTE), DE DIÁMETRO APOYÁNDOSE EN LA PLACA DE VIDRIO.

2.- SE REPITE ÉSTE PROCEDIMIENTO HASTA QUE EL ROLLITO EMPIEZA A DESMORONARSE AL ESTARLO FORMANDO.

3.- SE COLOCAN EN UNA CÁPSULA DE VIDRIO DE RELOJ Y SE PROCEDE A PESARLOS CON LA BASCULA DE (0.01 GRS) DE APROXIMACIÓN Y SE METEN AL HORNO DURANTE 24 HRS. A UNA TEMPERATURA DE CIENTO DIEZ GRADOS CENTÍGRADOS.

4.- UNA VEZ TRANSCURRIDAS LAS (24 HRS.) SE PESAN PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS CILINDROS.

5.- EL PROCESO SE DEBE REPETIR POR LO MENOS EN TRES (3) OCASIONES PARA PODER PROMEDIARLOS.

6.- TENIENDO LOS TRES RESULTADOS LOS ANOTAMOS EN LA HOJA DE REGISTRO Y PROCEDEREMOS A CALCULARLO, DONDE EL LIMITE PLÁSTICO (LP) ES; EL CONTENIDO DE AGUA PROMEDIO DE LOS CILINDROS.

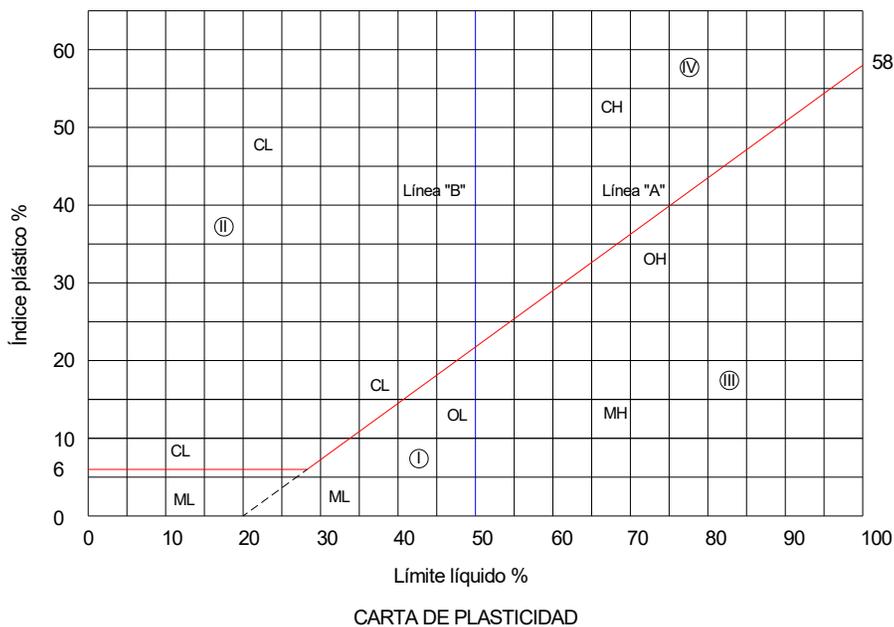
UNA VEZ DETERMINADOS LOS LÍMITES TANTO LÍQUIDO COMO PLÁSTICO PROCEDEREMOS A METER LOS DATOS A LA CARTA DE PLASTICIDAD, LA CUAL EN EL EJE DE LAS ABSCISAS REPRESENTA EL LIMITE LIQUIDO (LL) Y EN EL DE LAS



ORDENADAS EL ÍNDICE PLÁSTICO (IP). LA CARTA DE PLASTICIDAD NOS INDICARA LA CLASIFICACIÓN DEL SUELO.

* CAUSAS MAS FRECUENTES DE ERROR AL EFECTUAR ESTA PRUEBA.

- 1.- QUE EL CILINDRO DE SUELO SE ROMPA ANTES DE ALCANZAR EL DIÁMETRO DE TRES (3) MILÍMETROS, YA QUE EN ESTE CASO SU HUMEDAD SERÍA MENOR QUE LA DEL LÍMITE PLÁSTICO.
- 2.- QUE LA PLACA DE VIDRIO NO SE ENCUENTRE LIMPIA ANTES DE CADA DETERMINACIÓN, YA QUE ESTO DIFICULTA O IMPIDE LA FORMACIÓN DEL CILINDRO.
- 3.- QUE AL ALCANZAR EL CILINDRO EL DIÁMETRO DE TRES (3) MILÍMETROS, EL OPERADOR LO ROMPA EN FORMA DELIBERADA, MODIFICANDO LA PRESIÓN, LA VELOCIDAD DE ROLADO O AMBAS COSAS.



c) DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL (CL)

- 1.- SE HACE ESTA PRUEBA CON EL MATERIAL QUE SOBRO DEL ENSAYE DE (LL), CON UNA HUMEDAD LIGERAMENTE MAYOR DE 10% APROXIMADAMENTE.
- 2.- PROCEDEREMOS A LLENAR EL MOLDE DE PRUEBA PREVIAMENTE ENGRASADO PARA EVITAR QUE SE ADHIERA EL MATERIAL EN LAS PAREDES. EL MATERIAL DEBERÁ DE SER COLOCADO EN TRES CAPAS Y EN CADA UNA DE ESTAS DAR UNOS LIGEROS GOLPES TOMANDO EL MOLDE DE LOS EXTREMOS, CON LA FINALIDAD DE QUE EL MATERIAL SE ACOMODE.
- 3.- SE DEBE DEJAR SECAR EL MOLDE CON EL MATERIAL A UNA TEMPERATURA AMBIENTE HASTA QUE SU COLOR CAMBIE DE OSCURO A CLARO Y SE COLOCA EN EL HORNO A UNA TEMPERATURA DE CIENTO DIEZ GRADOS CENTÍGRADOS.
- 4.- SE SACA DEL HORNO Y CON EL VERNIER TOMAMOS LA LONGITUD DE LA BARRA DE MATERIAL SECO Y LA LONGITUD INTERIOR DEL MOLDE, PROCEDIENDO A ANOTARLO EN LA HOJA DE REGISTRO.

CÁLCULO.

$$CL = \frac{L1 - L2}{L1} \cdot 100$$

DONDE:

CL: ES LA CONTRACCIÓN LINEAL , EN PORCIENTO

L1: LONGITUD INTERIOR DEL MOLDE, EN CENTÍMETROS.

L2: LONGITUD DE LA BARRA DEL MATERIAL SECO, EN CENTÍMETROS

CAUSAS MAS FRECUENTES DE ERROR AL EFECTUAR ESTA PRUEBA.

- 1.- ENGRASADO DEFICIENTE DEL INTERIOR DEL MOLDE, LO QUE OCASIONA QUE EL ESPÉCIMEN SE ROMPA AL CONTRAERSE.
- 2.- NO DAR EL NÚMERO NECESARIO DE GOLPES A LA BARRA PARA ELIMINAR EL AIRE CONTENIDO EN EL MATERIAL.



- 3.- EXPONER EL ESPÉCIMEN AL SOL O INTRODUCIRLO EN EL HORNO INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE ELABORADO, ORIGINANDO CON ELLO QUE SE AGRIETE O SE DEFORME, PRINCIPALMENTE CUANDO SE TRATA DE MATERIALES MUY PLÁSTICOS.
- 4.- MEDIR INCORRECTAMENTE LA LONGITUD FINAL DE LA BARRA, SOBRE TODO CUANDO SE ROMPA O ARQUEE EXCESIVAMENTE.

d) DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA (CV).

- 1.- ESTA PRUEBA SE HACE CON EL MATERIAL QUE SOBRO DEL ENSAYE DEL LÍMITE LÍQUIDO, CON UNA HUMEDAD LIGERAMENTE MAYOR APROXIMADAMENTE EN UN 10%.
- 2.- EL MATERIAL SE COLOCA EN UNA CÁPSULA PETRI, LA CUAL DEBE PESARSE Y CUBRIR SU INTERIOR CON UNA CAPA DELGADA DE GRASA. O EN SU DEFECTO CON ACEITE QUEMADO. EL MATERIAL SE COLOCA EN 3 CAPAS, PROCURANDO EN CADA CAPA DAR UNOS LIGEROS GOLPES PARA QUE SE ASIENTE EL MATERIAL Y EXPULSE EL AIRE INCRUSTADO EN EL.
- 3.- A CONTINUACIÓN SE ENRASA EL MATERIAL EN EL MOLDE UTILIZANDO LA ESPÁTULA Y SE PESA CON APROXIMACIÓN AL 0.01 DE GRAMO.
- 4.- LA CÁPSULA CON EL SUELO SE DEJA OREAR A LA SOMBRA HASTA QUE CAMBIE LIGERAMENTE SU COLOR; ESTO ES CON LA FINALIDAD DE QUE LA PASTILLA DE SUELO NO SE AGRIETE.
- 5.- INMEDIATAMENTE DESPUÉS SE PONE A SECAR EN EL HORNO A UNA TEMPERATURA DE $110 \pm 5^\circ \text{C}$, DURANTE 24 HORAS APROXIMADAMENTE.
- 6.- SE EXTRAE DEL HORNO LA CÁPSULA CON EL ESPÉCIMEN, SE DEJA ENFRIAR EN EL DESECADOR Y A CONTINUACIÓN SE PESA.
- 7.- SE COLOCA EN UNA CÁPSULA DE PORCELANA UN RECIPIENTE DE VIDRIO O DE LUCITA Y SE LLENA DE MERCURIO (HG) HASTA DERRAMARLO Y SE ENRASA. PARA ENRAZAR SE COLOCA EL VIDRIO DE 3 PUNTAS SOBRE LA SUPERFICIE DE MERCURIO (HG) Y SE PRESIONA



HACIA ABAJO PARA FORZAR AL EXCEDENTE A SALIR DEL RECIPIENTE Y ASÍ EXPULSAR EL AIRE ATRAPADO. EL MERCURIO (HG), QUE SE DERRAMA SE RECOGE EN LA CÁPSULA PARA EVITAR PERDIDAS. (HAY QUE TOMAR PRECAUCIONES AL MANEJAR EL MERCURIO HG, DEBIDO A LA GRAN TOXICIDAD DE SUS VAPORES).



FOTO 10.- DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA.

- 8.- LA PASTILLA DE SUELO SECO SE EXTRAE DE LA CÁPSULA PETRI Y SE COLOCA INVERTIDA SOBRE LA SUPERFICIE DE MERCURIO (HG), QUE SE ENCUENTRA EN EL RECIPIENTE DE VIDRIO O LUCITA; SE SUMERGE LENTAMENTE CON MOVIMIENTOS DE ROTACIÓN POR MEDIO DEL VIDRIO DE 3 PUNTAS HASTA EXPULSAR EL AIRE ATRAPADO
- 9.- EL MERCURIO (HG) DESALOJADO POR LA PASTILLA SE PESA Y CON ESTE DATO DIVIDIDO ENTRE EL PESO ESPECIFICO DEL MERCURIO (HG), SE CALCULA SU VOLUMEN, QUE PARA FINES PRÁCTICOS SE TOMA 13.60, PUEDE VARIAR HASTA 13.56.

CÁLCULO.

$$CV \%W = \frac{VI - VF}{PS} \cdot 100$$



DONDE:

CV= LA CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA EN POR CIENTO.

W= LA HUMEDAD DEL MATERIAL, EN POR CIENTO.

VI= VOLUMEN INICIAL DE LA MUESTRA, EN CENTÍMETROS CÚBICOS.

VF= VOLUMEN FINAL DE LA MUESTRA, EN CENTÍMETROS CÚBICOS.

EL VOLUMEN DESALOJADO SE DETERMINA CON LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$VF = \frac{PHG \text{ DESALOJADO}}{P.E. DEL HG}$$

DONDE:

P HG = ES EL PESO DEL MERCURIO DESALOJADO.

P. E. DEL HG = ES EL PESO ESPECÍFICO DEL MERCURIO.

4.2.8. PROCTOR ESTÁNDAR

LA PRUEBA PROCTOR SE UTILIZA PARA SUELOS ARCILLOSOS, LIMOSOS, MEZCLAS DE LIMOS Y ARENAS, Y MEZCLAS DE ARCILLAS Y ARENAS.

EL OBJETIVO ES DETERMINAR EL PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO Y LA HUMEDAD OPTIMA DE COMPACTACIÓN DE UN SUELO FINO.

EQUIPO:

- 1.- MOLDE PROCTOR Y MARTILLO DE 2.5 KG.
- 2.- BALANZAS, UNA CON CAPACIDAD MÍNIMA DE 15 KG. Y APROXIMACIÓN DE 5 GR.; OTRA CON CAPACIDAD MÍNIMA DE 2 KG. Y APROXIMACIÓN DE 0.1 GR.
- 3.- PROBETAS GRADUADAS.
- 4.- CHAROLAS.
- 5.- REGLA METÁLICA PARA ENRASAR.



TIPO DE PRUEBA	ESTÁNDAR		MODIFICADA	
MASA DEL PISÓN, KG	2.5 ± 0.01		4.54 ± 0.01	
DIÁMETRO DEL PISON, MM	50.8		50.8	
ALTURA DE CAÍDA DEL PISON, CM	30.5 ± 0.1		45.7 ± 0.1	
NUMERO DE CAPAS	3		5	
VARIANTES	A Y C	BY D	A Y C	BY D
TAMAÑO DEL MATERIAL, MM	4.75 (NO.4)	19.0 (3/4")	4.75 (NO.4)	19.0 (3/4")
DIÁMETRO INTERIOR DEL MOLDE, MM	101.6 ± 0.4	152.4 ± 0.7	101.6 ± 0.4	152.4 ± 0.7
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25	56	25	56
TAMAÑO DE LA MUESTRA DE PRUEBA,	4.0	7.5	4	7.5

TABLA 1.- CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIANTES DE LAS PRUEBAS DE COMPACTACIÓN.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- DEL MATERIAL QUE SE TRAE DE CAMPO SE CRIBA A TRAVÉS DE LA MALLA NO. 4, COLOCANDO LA FRACCIÓN QUE PASA EN UNA CHAROLA Y DESECHANDO EL RETENIDO.
- 2.- SE HOMOGENEIZA PERFECTAMENTE EL MATERIAL QUE CONSTITUYE LA PORCIÓN DE PRUEBA. A LA PORCIÓN PREPARADA, SE LE AGREGA LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA QUE UNA VEZ HOMOGENEIZADA,



TENGA UN CONTENIDO DE AGUA INFERIOR EN 4 A 6% RESPECTO AL ÓPTIMO ESTIMADO.



FOTO 11.- EQUIPO QUE SE REQUIERE PARA LA PRUEBA PROCTOR.

- 3.- EN EL CASO DE QUE SE HAYAN FORMADO GRUMOS DURANTE LA INCORPORACIÓN DEL AGUA, SE REVUELVE EL MATERIAL HASTA DISGREGARLO TOTALMENTE. SE MEZCLA CUIDADOSAMENTE LA PORCIÓN PARA HOMOGENEIZARLA Y SE DIVIDE EN TRES FRACCIONES APROXIMADAMENTE IGUALES, EN EL CASO DE LA PRUEBA ESTÁNDAR.
- 4.- SE COLOCA UNA DE LAS FRACCIONES DE MATERIAL EN EL MOLDE, CON SU RESPECTIVA EXTENSIÓN, PARA COMPACTAR EL MATERIAL CON EL PISÓN, APLICANDO 25 GOLPES, REPARTIENDO UNIFORMEMENTE LOS GOLPES EN LA SUPERFICIE DE LA CAPA. SE ESCARIFICA LIGERAMENTE LA SUPERFICIE DE LA CAPA COMPACTADA Y SE REPITE EL PROCEDIMIENTO DESCRITO PARA LAS CAPAS SUBSECUENTES.
- 5.- TERMINADA LA COMPACTACIÓN DE TODAS LAS CAPAS, SE RETIRA LA EXTENSIÓN DEL MOLDE Y SE VERIFICA QUE EL MATERIAL NO SOBRESALGA DEL CILINDRO EN UN ESPESOR PROMEDIO DE 1.5 CM. COMO MÁXIMO; DE LO CONTRARIO LA PRUEBA SE REPETIRÁ UTILIZANDO DE PREFERENCIA UNA NUEVA PORCIÓN DE PRUEBA CON MASA



LIGERAMENTE MENOR QUE LA INICIAL. EN EL CASO DE QUE NO EXCEDA DICHO ESPESOR, SE ENRASA CUIDADOSAMENTE EL ESPÉCIMEN CON LA REGLA METÁLICA.

- 6.- A CONTINUACIÓN, SE DETERMINA LA MASA DEL CILINDRO CON EL MATERIAL DE PRUEBA Y SE ANOTA EN LA HOJA DE REGISTRO.
- 7.- SE SACA EL ESPÉCIMEN DEL CILINDRO Y DE SU PARTE CENTRAL SE OBTIENE UNA PORCIÓN REPRESENTATIVA PARA DETERMINAR SU CONTENIDO DE AGUA.
- 8.- SE INCORPORAN LAS FRACCIONES DEL ESPÉCIMEN AL MATERIAL QUE SOBRÓ AL ENRASARLO, EN SU CASO, SE DISGREGAN LOS GRUMOS, SE AGREGA APROXIMADAMENTE 2% DE AGUA CON RESPECTO A LA MASA INICIAL DE LA PORCIÓN DE PRUEBA Y SE REPITEN LOS PASOS DESCRITOS ANTERIORMENTE.
- 9.- CON LA MISMA PORCIÓN DE PRUEBA SE REPITE LO INDICADO EN EL INCISO H), INCREMENTANDO SUCESIVAMENTE SU CONTENIDO DE AGUA, HASTA QUE DICHO CONTENIDO SEA TAL QUE EL ÚLTIMO ESPÉCIMEN ELABORADO PRESENTE UNA DISMINUCIÓN APRECIABLE EN SU MASA CON RESPECTO AL ANTERIOR. PARA DEFINIR CONVENIENTEMENTE LA VARIACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA DE LOS ESPECIMENES ELABORADOS RESPECTO A SUS CONTENIDOS DE AGUA, SE REQUIERE COMPACTAR CUATRO O CINCO ESPECIMENES, QUE EN LA SEGUNDA DETERMINACIÓN LA MASA DEL CILINDRO CON EL ESPÉCIMEN HÚMEDO SEA MAYOR QUE EN LA PRIMERA Y QUE EN LA PENÚLTIMA DETERMINACIÓN SEA MAYOR QUE EN LA ÚLTIMA.

EN MATERIALES DEGRADABLES ES CONVENIENTE PREPARAR MUESTRAS DE PRUEBA DIFERENTES PARA CADA DETERMINACIÓN.



4.2.9. PORTER ESTÁNDAR

ESTA PRUEBA SE UTILIZA PARA SUELOS GRANULARES, ARENAS Y GRAVAS QUE SE RETIENEN EN LA MALLA NO. 4 MÁS DE 10%.

EL OBJETIVO ES DETERMINAR EL PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO Y LA HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACIÓN DE CUALQUIER MEZCLA DE SUELO.

EQUIPO:

- 1.- MOLDE PORTER Y VARILLA CON PUNTA DE BALA.
- 2.- BALANZA CON CAPACIDAD MÍNIMA DE 10 KG.
- 3.- BALANZA CON CAPACIDAD MÍNIMA DE 300 GR.
- 4.- CHAROLA, PROBETA GRADUADA, HORNO O ESTUFA.
- 5.- MÁQUINA PARA APLICACIÓN DE CARGA.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- DEL MATERIAL QUE SE TRAE DEL CAMPO, SE CUARTEA, SE CRIBA POR LA MALLA DE 1" Y SE TOMAN 5 KG. APROXIMADAMENTE.
- 2.- SE LE AGREGA AGUA DE TAL MANERA QUE EL MATERIAL TENA APROXIMADAMENTE SU HUMEDAD ÓPTIMA. ESTA HUMEDAD SE LOGRA REMOVIENDO EL AGUA AGREGADA A LA MUESTRA PARA HOMOGENEIZARLA.





FOTO 12.- INSTRUMENTAL EMPLEADO EN LA PRUEBA PORTER.

- 3.- SE PESAN 4 KG., DE MATERIAL HÚMEDO Y SE COLOCAN EN EL MOLDE PORTER, EN TRES CAPAS, COMPACTADA CADA UNA DE ELLAS CON 25 GOLPES POR MEDIO DE UNA VARILLA PUNTA CON BALA.
- 4.- SE LE APLICA A LA MUESTRA QUE ESTÁ ALOJADA EN EL MOLDE, UNA CARGA DE TAL MANERA QUE LA PRESIÓN QUE SE APLIQUE LLEGUE A 140.6 KG/CM^2 , EN UN LAPSO DE 3 MIN. Y ESTA SE DEBE MANTENER CONSTANTE DURANTE UN MINUTO.
- 5.- EN EL LAPSO DE TIEMPO QUE SE MANTIENE LA CARGA CONSTANTE SE DEBE OBSERVAR SI FLUYE UNA GOTA DE AGUA POR LA PARTE INFERIOR DEL MOLDE, EN CASO DE QUE NO APAREZCA, SE QUITA EL MOLDE Y SE OBSERVA EN LA PLACA DE CARGA SI LA SUPERFICIE ESTA HÚMEDA. EN CUALQUIERA DE LOS CASOS SE DA POR TERMINADA LA PRUEBA. SI NO OCURRE NINGUNA DE LAS DOS COSAS ANTERIORES SE LE AGREGA MÁS AGUA HASTA QUE CUMPLA CON LO DICHO ANTERIORMENTE. SI CUMPLE SE DICE QUE EL MATERIAL SE ENCUENTRA EN SU PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO Y TIENE LA HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACIÓN.
- 6.- SE RETIRA EL MOLDE DE LA PRENSA HIDRÁULICA Y SE MIDE EN CUATRO PUNTOS DIAMETRALMENTE OPUESTOS CON UN CALIBRADOR VERNIER, LO QUE EL MATERIAL BAJÓ AL COMPRIMIRSE EN EL MOLDE.



7.- DEL MATERIAL QUE SOBRÓ SE PESAN 200 GR. Y SE OBTIENE LA HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACIÓN.

8.- FINALMENTE SE PROCEDE A HACER LOS CÁLCULOS:

ALTURA REAL = ALTURA DEL MOLDE – LO QUE EL MATERIAL
BAJÓ AL COMPRIMIRSE

VOLUMEN DE LA MUESTRA = ALTURA REAL X ÁREA DEL MOLDE

PVH = PESO DE LA MUESTRA ÷ VOLUMEN

PVSM = PVH ÷ (1+HUMEDAD ÓPTIMA)

4.2.10. VALOR RELATIVO DE SOPORTE

EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS SUELOS EN CUANTO A SU VALOR SE SOPORTE, MIDIENDO LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL SUELO COMPACTADO Y SUJETO A UN DETERMINADO PERÍODO DE SATURACIÓN.

EQUIPO:

- 1.- EL EQUIPO UTILIZADO EN ESTA PRUEBA ES EL MISMO QUE SE UTILIZA EN LA PRUEBA PORTER.
- 2.- TANQUE DE SATURACIÓN CON ALTURA MÍNIMA DE 30 CM.
- 3.- HOJAS DE PAPEL FILTRO CON DIÁMETRO DE 154 MM.
- 4.- MÁQUINA DE COMPRESIÓN CON CAPACIDAD MÍNIMA DE (30 TON) PROVISTA DE (1) PISTÓN DE PENETRACIÓN, DE ACERO, CON DIÁMETRO DE (49.5 MM) Y SECCIÓN DE (19.35 CM²).
- 5.- 2 PLACAS CIRCULARES DE CARGA CON DIÁMETRO DE (154 MM), TENIENDO UN ORIFICIO CENTRAL DE (5.4 CM) DE DIÁMETRO Y UN PESO DE (3 KG) CADA UNA.
- 6.- TRIPIE.



PROCEDIMIENTO:

- 1.- DESPUÉS QUE SE REALIZÓ LA PRUEBA PORTER EL ESPÉCIMEN SE SATURA COLOCÁNDOLE EN LA PARTE SUPERIOR PAPEL FILTRO, UNA PLACA PERFORADA, DOS PLACAS DE CARGA Y UN TRIPIÉ CON UN EXTENSÓMETRO PARA MEDIR LA EXPANSIÓN, SE REGISTRA LA LECTURA INICIAL Y FINAL.
- 2.- LA DIFERENCIA DE LA LECTURA FINAL Y LA INICIAL SE DIVIDE ENTRE LA ALTURA DEL ESPÉCIMEN ANTES DE SATURARLO, EXPRESANDO EN % EL VALOR DE LA EXPANSIÓN.
- 3.- SE TOMAN MEDIDAS CADA 24 HRS. Y ESTAS SE PARARÁN HASTA QUE DOS SEAN SUCESIVAS, POR LO GENERAL SE LLEVAN DE 3 A 5 DÍAS
- 4.- SE SACA DEL AGUA EL MOLDE QUE CONTIENE EL ESPÉCIMEN Y LAS PLACAS EN POSICIÓN HORIZONTAL Y SE DEJA ASÍ DURANTE 3 MIN., A LA SOMBRA, CON LA FINALIDAD DE QUE ESCURRA EL AGUA. INMEDIATAMENTE DESPUÉS SE RETIRAN LAS PLACAS Y EL PAPEL FILTRO, Y SE VUELVEN A COLOCAR ÚNICAMENTE LAS PLACAS DE CARGA.
- 5.- SE INSTALA EL MOLDE EN LA PRENSA Y SE PROCEDE A PENETRARLO; SE APLICA UNA CARGA INICIAL DE 10 KG, E INMEDIATAMENTE, SIN RETIRAR LA CARGA, SE AJUSTA EL EXTENSOMETRO.



FOTO 13.- ESPÉCIMEN CARGADO PARA CONOCER SU PENETRACIÓN.

6.- SE APLICA CARGA PARA QUE EL PISON PENETRE EN EL ESPÉCIMEN CON UNA VELOCIDAD UNIFORME DE 1.27MM/MIN. SE ANOTAN LAS CARGAS APLICADAS POR LA PRENSA, LAS CUALES SE DETERMINAN MEDIANTE LA DEFORMACIÓN DE UN ANILLO CALIBRADO.

SI SUSTITUIMOS LA LECTURA DEL ANILLO EN LA CONSTANTE DE LA MÁQUINA NOS DA UNA CARGA, AL DIVIDIR ESTA CARGA ENTRE 1360 Y MULTIPLICARLO POR 100 OBTENEMOS EL VRS.

4.2.11. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SECO DEL LUGAR Y % DE COMPACTACIÓN.

EL OBJETIVO DE ESTA PRUEBA ES DETERMINAR EL PESO VOLUMÉTRICO SECO DE CAMPO Y ASÍ DETERMINAR EL GRADO DE COMPACTACIÓN.

EQUIPO:

- 1.- BARRETA DE ACERO CON EXTREMO TERMINADO EN PUNTA Y EL OTRO EN PLANO.
- 2.- ARENA LAVADA, CLASIFICADA ENTRE MALLAS NO. 20 Y 30.
- 3.- REGLA DE 30 CM. DE LONGITUD.
- 4.- BÁSCULA DE 20 KG. DE CAPACIDAD Y APROXIMACIÓN DE 0.1 GR.
- 5.- FUENTE DE CALOR.
- 6.- CHAROLA CIRCULAR DE 30 CM. DE DIÁMETRO.

PROCEDIMIENTO:

1. SE PESAN INICIALMENTE 3 KG. DE ARENA, LA CUAL SE HA CRIBADO PREVIAMENTE POR LAS MALLAS NO. 16 Y 30 RESPECTIVAMENTE, DICHA



ARENA DEBE SER DE RÍO, PROCURANDO QUE LA MAYORÍA DE GRANOS SEAN DE CUARZO.

2. CON EL USO DE LA BARRA METÁLICA SE PROCEDE A EXCAVAR UN POZO (SONDEO) DE APROXIMADAMENTE 15X15 CM., Y A LA PROFUNDIDAD QUE TENGA LA CAPA QUE SE ESTE ANALIZANDO, EL MATERIAL QUE SE EXTRAIGA DEL SONDEO MAYOR DE 1" SE DEJARÁ A UN LADO DEL SONDEO, EL MATERIAL MENOR DE 1" SERÁ ALMACENADO DENTRO DE UNA BOLSA DE PLÁSTICO, LA CUAL DEBE SER CERRADA CADA VEZ QUE SE INTRODUZCA MATERIAL PARA QUE NO PIERDA HUMEDAD.
3. CUANDO SE HAYA TERMINADO DE HACER EL SONDEO, SE LLENA DE ARENA CUIDANDO QUE LA CAÍDA NO SEA MAYOR DE 20 CM., DEBE SER CONSTANTE Y UNIFORME, CUANDO SE HAYAN LLENADO APROXIMADAMENTE 5 CM. DEL SONDEO, SE DEBEN COLOCAR LOS AGREGADOS MAYORES DE 1" EXTRAÍDOS, CUIDADOSAMENTE CON LA MANO, PROCURANDO NO DEJAR CAER NINGUNO DIRECTAMENTE SOBRE LA ARENA. DESPUÉS SE DEBE SEGUIR COLOCANDO LA ARENA HASTA LLENAR POR COMPLETO EL SONDEO, ENRASANDO CON UNA REGLA SIN COMPACTAR Y SIN PERDER ARENA.
4. POSTERIORMENTE SE PESA LA ARENA SOBRANTE Y EL MATERIAL EXTRAÍDO DEL SONDEO, PARA CALCULAR EL PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN.

PARA QUE NUESTRAS OBRAS TENGAN UNA MAYOR CALIDAD Y A SU VEZ MÁS VIDA ÚTIL, HAY QUE ANALIZAR EL TERRENO Y LOS MATERIALES CON LOS QUE NOS VAMOS A APOYAR LA CONSTRUCCIÓN DE NUESTRA OBRA.

LA FINALIDAD DE ANALIZAR EL MATERIAL Y HACER LAS PRUEBAS ES CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECANICAS DE LOS MATERIALES QUE SE EMPLEAN EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, PARA VERIFICAR SI CUMPLEN CON LAS NORMAS ESTABLECIDAS Y LAS DEL PROYECTO EN PARTICULAR.



LAS PRINCIPALES PRUEBAS DE LABORATORIO A QUE SE SOMETEN LOS MATERIALES, PARA SU ANÁLISIS SON LAS QUE SE MENCIONAN A CONTINUACION.

A LOS ESTRATOS ENCONTRADOS DE LOS SONDEOS EXPLORADOS SE LES REALIZARON LAS SIGUIENTES PRUEBAS O ENSAYOS DE LABORATORIO:

- GRANULOMETRÍA
- LIMITES DE CONSISTENCIA
- EXPANSIÓN (%)
- VALOR RELATIVO DE SOPORTE (%)
- PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO
- PRÓCTOR ESTÁNDAR
- PESO VOLUMÉTRICO SECO DEL LUGAR Y % DE COMPACTACIÓN

EN LA TABLA DE VALORES QUE SE ANEXA A ESTE INFORME, SE PRESENTAN LOS RESULTADOS DE LOS ESTRATOS DETECTADOS.



DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES SE DEBEN DE TOMAR EN CUENTA LAS CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES, NATURALEZA Y COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES TERROSOS QUE VAN A FORMAR PARTE DEL PAVIMENTO. OTRO FACTOR A TOMAR EN CUENTA ES “EL EFECTO DEL AMBIENTE”, EL CUAL SE REFIERE NO SOLO ALAS CONDICIONES DEL CLIMA; TAMBIÉN LAS TOPOGRÁFICAS POR DONDE VA A ATRAVESAR EL CAMINO, YA QUE NO ES LO MISMO QUE EL CAMINO ATRAVIESE UN VALLE O SIGA LA LÍNEA DE PARTE AGUAS.

EN LA ACTUALIDAD CASI TODOS LOS CRITERIOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS SE BASAN EN MÉTODOS EMPÍRICOS, PARA LOS CUALES SE REALIZAN PRUEBAS DE LABORATORIO, LA CUAL NO ES MAS QUE UNA CARICATURA BURDA DE LA REALIDAD POCA REPRESENTATIVA.

ACTUALMENTE LA PRUEBA BÁSICA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS EL LA DEL VRS, DE LA CUAL SE OBTIENEN SOLUCIONES POCO REPRESENTATIVAS DE LA REALIDAD. ESTA PRUEBA SE MANEJA COMO ÍNDICE DE EXPERIENCIA PERSONAL.

OTRA DEFICIENCIA DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS ES CONSIDERAR LAS CARGAS DEL TRANSITO ESTÁTICAS Y NO MÓVILES COMO EN REALIDAD SUCEDE.

ESTE MÉTODO SOLO CONSIDERA DOS VARIABLE PARA EL DISEÑO, LAS CUALES SON:

A). LA INTENSIDAD DEL TRANSITO.

B). RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL MATERIAL QUE SIRVE DE BASE

PARA LA CIMENTACIÓN DEL PAVIMENTO, O SEA DE SU VALOR RELATIVO DE SOPORTE.



A).- DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DEL TRANSITO.

PARA EFECTUAR DICHA DETERMINACIÓN SE AUXILIA EL PROYECTISTA DE AFOROS DEL TRANSITO Y ESTUDIOS DE ORIGEN Y DESTINO EFECTUADOS EN CAMINOS, COLONIAS O FRACCIONAMIENTOS CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES AL QUE SE VA A CONSTRUIR. ESTOS ESTUDIOS SE PUEDEN OBTENER DE LA SECRETARÍA POR MEDIO DE LA COMISIÓN DE INGENIERÍA DE TRANSITO. PARA EL CONTEO DE VEHÍCULOS, SE UTILIZAN CONTADORES MANUALES O ELECTRÓNICOS, CLASIFICÁNDOLOS EN VEHÍCULOS:

- LIGEROS (A),
- AUTOBUSES (B)
- VEHÍCULOS PESADOS (C).
- VEHICULOS ARTICULADOS O ESPECIALES (T)

B).- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA O VRS DEL MATERIAL QUE FORMA PARTE DE LA SUBRASANTE O TERRACERÍAS.

LA PRUEBA DE VRS DEBERÁ DE EFECTUARSE SIEMPRE EN CONDICIONES DE HUMEDAD CERCANAS A LAS MAS DESFAVORABLES QUE SE CONSIDERE PUEDA ALCANZAR EL MATERIAL PARA UNA COMPACTACIÓN DE PROYECTO EXISTENTE.

C).- DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES.

PARA DETERMINAR LOS ESPESORES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE SE UTILIZA LA GRAFICA QUE SEÑALA EL METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM, LA CUAL SE UTILIZA DE LA MANERA SIGUIENTE:



LA SECUENCIA DE CALCULO ES LA SIGUIENTE:

- A). SE DETERMINA EL VRS DEL MATERIAL DE CADA CAPA QUE VA A UTILIZARSE EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO.
- B). SE ESTIMA EL TDPA, CON EL CUAL SE DETERMINA EL TRÁNSITO EQUIVALENTE (L). EN EJES SENCILLOS DE 8.2 TON.

EN ESTE MÉTODO NO SE TOMA EN CUENTA EL EFECTO DE LOS AUTOMÓVILES (A).

- 1) SE SUMAN TODOS LOS PRODUCTOS, OBTENIÉNDOSE ASÍ LA CARGA EQUIVALENTE TOTAL (CE), PARA UN AÑO.
- 2) SE DETERMINA EL ÍNDICE DE TRÁNSITO (IT), CON LA EXPRESIÓN:

$$IT = 6.7 \frac{CE}{10^6}^{0.119} \dots\dots\dots (1)$$

DONDE CE ES LA CARGA EQUIVALENTE, DETERMINADA POR LA EXPRESIÓN:

$$CE = \frac{CE Fp}{p} \dots\dots\dots (2)$$

DONDE:

p = PERIODO DE DISEÑO, QUE PARA ESTE MÉTODO ES DE 10 AÑOS.

Fp = FACTOR DE PROYECCIÓN. EXPRESIÓN QUE SE DETERMINA CON:

$$Fp = \frac{1}{2} \frac{TDPAf}{TDPAi} \dots\dots\dots (3)$$



DONDE:

TDPA = TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL, ES DECIR EL TRÁNSITO QUE PASA EN EL DÍA MEDIO DEL AÑO.

f, i = SE REFIERE AL INSTANTE FINAL E INICIAL DEL PERIODO DE DISEÑO DE 10 AÑOS.

DE LA FORMULA DEL INTERÉS COMPUESTO:

$$(TDPA)_f = (TDPA)_i \left(1 + \frac{tc\%}{100} \right)^p \dots \dots \dots (3) \dots \dots$$

POR LO QUE:

$$\frac{(TDPA)_f}{(TDPA)_i} = \left(1 + \frac{tc\%}{100} \right)^p \dots \dots \dots (4)$$

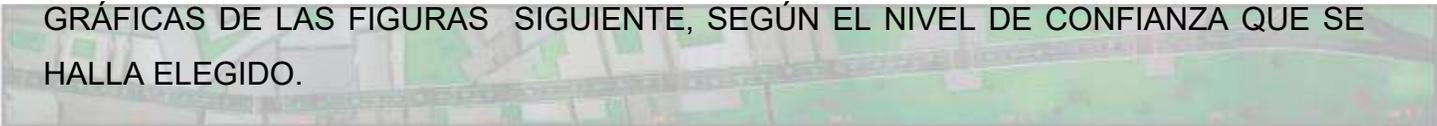
DONDE:

tc = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL.

ESTE CALCULO SE REALIZA EN FUNCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO ANUAL, VIDA DE PROYECTO DEL PAVIMENTO, COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO, VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE DAÑO CON LA PROFUNDIDAD Y NIVEL DE CONFIANZA ASIGNADO AL PAVIMENTO. EL TRÁNSITO EQUIVALENTE REPRESENTA EL NUMERO MEDIO DE EJES POR CADA VEHÍCULO QUE CIRCULA POR LA CARRETERA AL CABO DE CIERTO NUMERO DE AÑOS.

C). DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO.

PARA DETERMINAR LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO SE UTILIZAN LAS GRÁFICAS DE LAS FIGURAS SIGUIENTE, SEGÚN EL NIVEL DE CONFIANZA QUE SE HALLA ELEGIDO.



VALORES DE LOS NIVELES DE CONFIABILIDAD

* NIVELES DE CONFIABILIDAD	
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL:	NIVEL RECOMENDADO POR AASHTO PARA CARRETERAS
Carretera Interestatal o Autopista.	80 - 99.9
Red Principal o Federal.	75 - 95
Red Secundaria o Estatal.	75 - 95
Red Rural o Local.	50 - 80

DESVIACIONES ESTÁNDAR PARA VARIOS NIVELES DE CONFIABILIDAD

Reliability (%)	Standard normal deviate (Z_R)	Reliability (%)	Standard normal deviate (Z_R)
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750



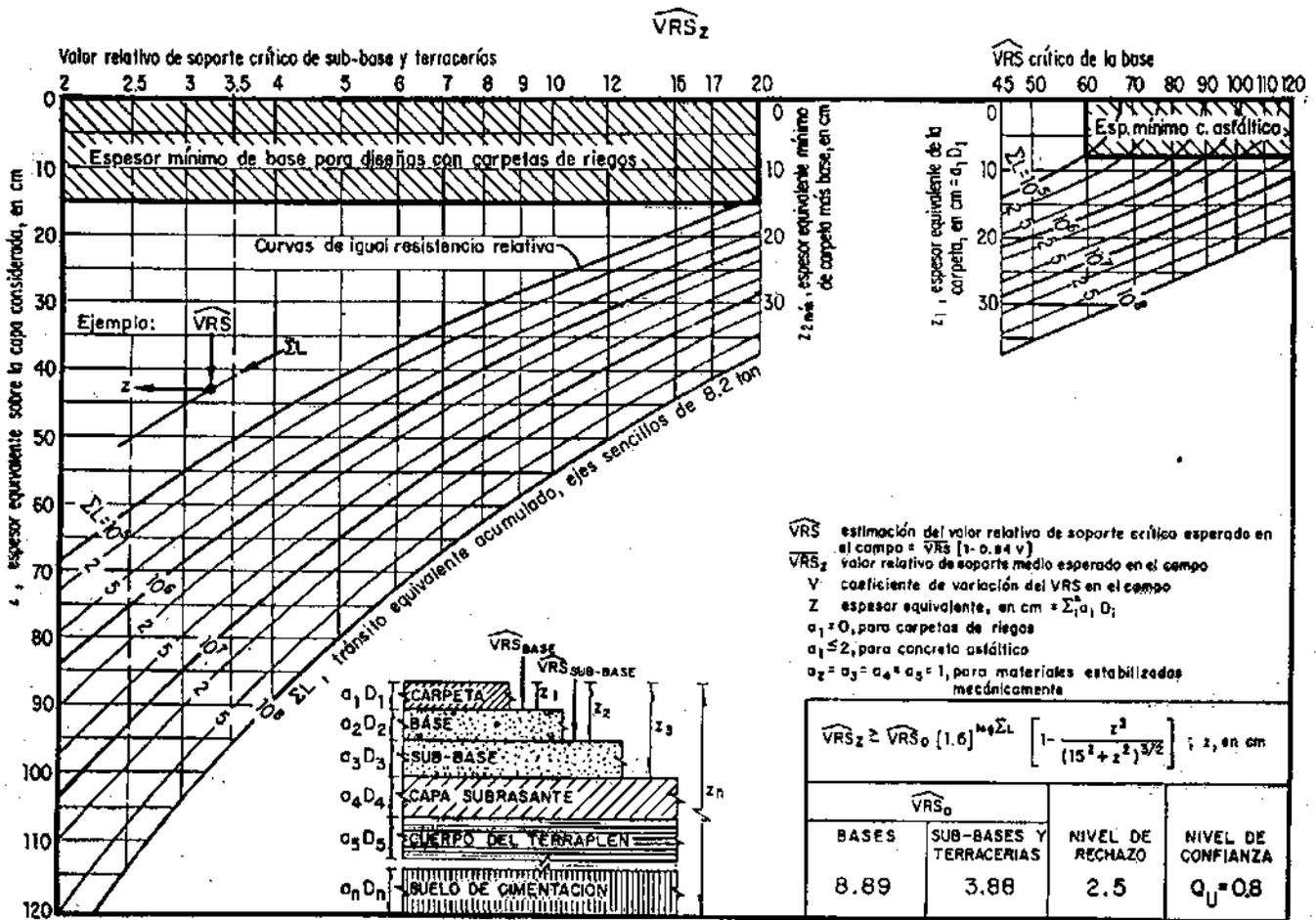


Fig A6. Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

ESTAS GRÁFICAS SE UTILIZAN DE LA MANERA SIGUIENTE:

SE DETERMINA EL ESPESOR EQUIVALENTE REQUERIDO DE Z_1 SOBRE LA CAPA ANALIZADA, ENTRANDO A LA GRÁFICA CON EL VRS DE DICHA CAPA EN AL EJE DE LAS ABCISAS POR DONDE SE BAJA UNA VERTICAL HASTA INTERCEPTAR LA CURVA DE TRÁNSITO EQUIVALENTE CORRESPONDIENTE A LA PROFUNDIDAD ANALIZADA Y EN EL EJE DE LAS ORDENADAS SE LEE EL ESPESOR EQUIVALENTE.

PARA DETERMINAR EL ESPESOR REAL DE LAS CAPAS D_1 SE UTILIZA LA EXPRESIÓN:



$$Z_n = \sum_{i=1}^n a_i D_i$$

DONDE:

Z = Espesor equivalente.

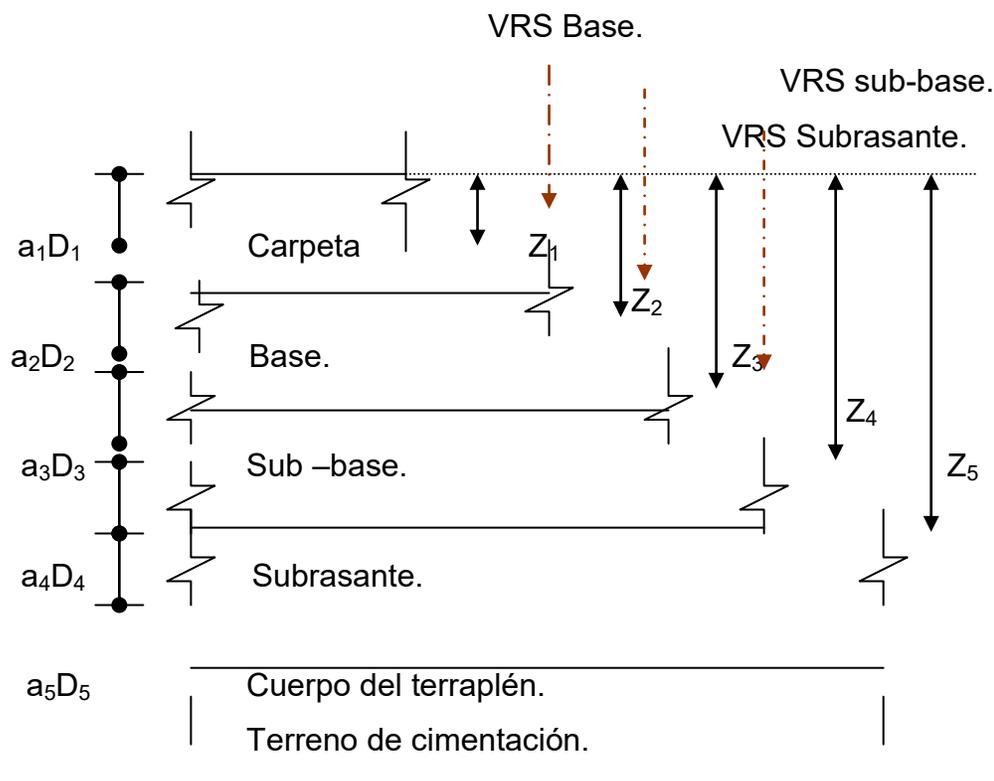
a_1 = Coeficiente de equivalencia estructural (toma en cuenta la capacidad de repetición de carga sobre el material).

$a_1 = 0$ para carpetas de riego.

$a_1 = 2$ para carpetas asfálticas (se toma $a_i = 2$).

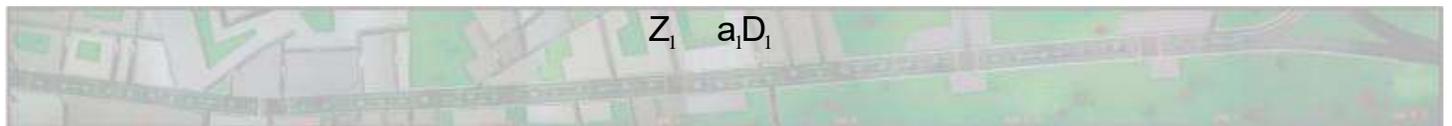
$a_2 = a_3 = a_4 = 1$ para materiales estabilizados mecánicamente.

D_i = Espesor real.



EL ESPESOR DE LA CARPETA SERÁ:

Z_1 MÍNIMO = 8 CM.



$$D_1 = \frac{Z_1}{a_1}$$

EL ESPESOR DE LA BASE SERÁ:

$$Z_1 = a_1 D_1 + a_2 D_2 \quad Z_1 = a_2 D_2 + Z_2$$

$$D_2 = \frac{Z_2 - Z_1}{a_2}$$

En general.

$$D_i = \frac{Z_i - Z_{i-1}}{a_i}$$

A CONTINUACION SE MUESTRAN LAS CONSIDERACIONES Y PARAMETROS RELATIVOS AL DISEÑO:

1. LOS ESPESORES DETERMINADOS EN EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, SON LOS RECOMENDADOS DE ACUERDO AL CALCULO DEL TRANSITO Y CALIDAD DE LOS MATERIALES.
2. EL MÉTODO UTILIZADO PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO ES EL DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO, UTILIZANDO EL SISTEMA DISPAV-5
3. LOS ESPESORES REALES OBTENIDOS EN EL CALCULO POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. EMPLEADO EN ESTE CASO CON EL PROGRAMA DISPAV-5, Y SON LOS MOSTRADOS A CONTINUACION:

SUPERFICIE DE RODAMIENTO	=	8.00 CMS.
CARPETA ASFÁLTICA		
BASE HIDRAULICA	=	20.0 CMS.
SUB-BASE	=	20.0 CMS.
SUB-RASANTE (INERTE)	=	30.0 CMS.

NOTA: LOS ESPESORES ANTERIORES SON MINIMOS Y EN ESTADO COMPACTO.



A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE:

LOS PARÁMETROS DE DISEÑO PARA DETERMINAR LOS ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, SON LOS QUE SE DESCRIBEN A CONTINUACIÓN:

INGENIERÍA DE TRANSITO

❖ DEL MANUAL DE AFOROS VEHICULARES DE LA SCT EMISION 2004:

- TDPA EN AMBOS SENTIDOS: 7 884 VEHICULOS

PARA EL CARRIL DE DISEÑO SE CONSIDERA EL 65% DEL CARRIL:

- TDPA EN EL CARRIL DE DISEÑO = 3153 VEHÍCULOS
- TASA DE CRECIMIENTO:
 - ZONA 1 : 4.50%
- PERIODO DE DISEÑO: 5 AÑOS

❖ CLASIFICACIÓN VEHICULAR:

TIPO "A": 71.50%

TIPO "B-2": 10.10%

TIPO "C-2": 8.80%

TIPO "C-3": 4.50%

TIPO "T3-S2": 2.70%

TIPO "T3-S3": 2.30%

TIPO "T3-S2-R4": 0.10%

❖ CALIDAD DE LOS MATERIALES DE PROYECTO PARA EL DISEÑO

V. R. S. DE TERRENO NATURAL

ZONA 1: 6.50%

V. R. S. DE CAPA DE BASE

ZONA 1: 100%

V. R. S. DE CAPA DE SUB-BASE

ZONA 1: 60%

V. R. S. DE CAPA DE SUB-RASANTE



ZONA 1: 50%

- ❖ NIVEL DE CONFIANZA: 85.0%
- ❖ NUMERO DE MILLONES DE EJES EQUIVALENTES:

POR FATIGA: 5.00ESAL'S
 POR DEFORMACION: 7.70ESAL'S

- ❖ COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA DE VEHICULO CARGADO:

TIPO DE VEHÍCULO	EJE	Z=5 CMS.	Z=15 CMS.	Z=30 CMS.	Z=60 CMS.	Z=90 CMS.	Z=120 CMS.
B2	1	1.12	0.62	0.37	0.29	0.28	0.27
	2	1.28	2.11	3.55	4.69	5.01	5.14
	SUMA	2.40	2.73	3.93	4.99	5.29	5.41
C2	1	1.12	0.62	0.37	0.29	0.28	0.27
	2	1.28	2.11	3.55	4.69	5.01	5.14
	SUMA	2.40	2.73	3.93	4.99	5.29	5.41
C3	1	1.12	0.62	0.37	0.29	0.28	0.27
	2	2.50	3.30	3.34	4.34	4.61	4.72
	SUMA	3.62	3.92	3.71	4.63	4.89	4.99
T3-S2	1	1.12	0.62	0.37	0.29	0.28	0.27
	2	2.50	3.30	3.34	4.34	4.61	4.72
	3	2.46	2.78	2.42	2.87	2.98	3.03
	SUMA	6.08	6.70	6.13	7.50	7.87	8.02
T3-S3	1	1.12	0.62	0.37	0.29	0.28	0.27
	2	2.50	3.30	3.34	4.34	4.61	4.72
	3	3.52	2.70	2.41	2.86	2.98	3.02
	SUMA	7.14	6.62	6.13	7.49	7.87	8.01
T3-S2-R4	1	1.07	0.42	0.20	0.15	0.14	0.13
	2	2.43	2.47	1.96	2.19	2.25	2.28
	3	2.38	2.01	1.37	1.40	1.41	1.42
	4	1.88	0.38	0.10	0.06	0.06	0.06
	5	2.38	2.01	1.37	1.40	1.41	1.42
	SUMA	10.13	7.38	4.99	5.21	5.27	5.29



SE CONSIDERA UN CAMINO DE NORMAL DE ESPECIFICACIONES, CON DEFORMACION DE LA RODADA DEL ORDEN DE 2.50 CMS. Y AGRIETAMIENTO DE MEDIO A FUERTE AL FINAL DE LA VIDA DE PROYECTO.

TRANSITO DE PROYECTO EN MILLONES DE EJES ESTANDARES, PARA UNA PROFUNDIDAD:

PROFUNDIDAD	MILLONES DE EJES STD.
Z = 5	5.40
Z = 15	5.00
Z = 30	5.80
Z = 60	7.30
Z = 90	7.70
Z = 120	7.80

EN LA TABLA SIGUIENTE SE MUESTRAN LOS VALORES Y RESULTADOS OBTENIDOS:

CAPA	Z profundidad (cm)	VRS z %	E Kg/cm ²	V	VIDA PREVISIBLE DE DEFORMACION	VIDA PREVISIBLE DE FATIGA
CARPETA	8.00		35000	0.35		5.20
BASE	20.00	100.00	3265	0.35	18.80	
SUB-BASE	20.00	60.00	2284	0.45	>150	
SUB - RASANTE (FILTRO)	30.00	50	2010	0.45	>150	
TERRENO NATURAL	SEMI-INFINITO	6.50	482	0.45	>150	



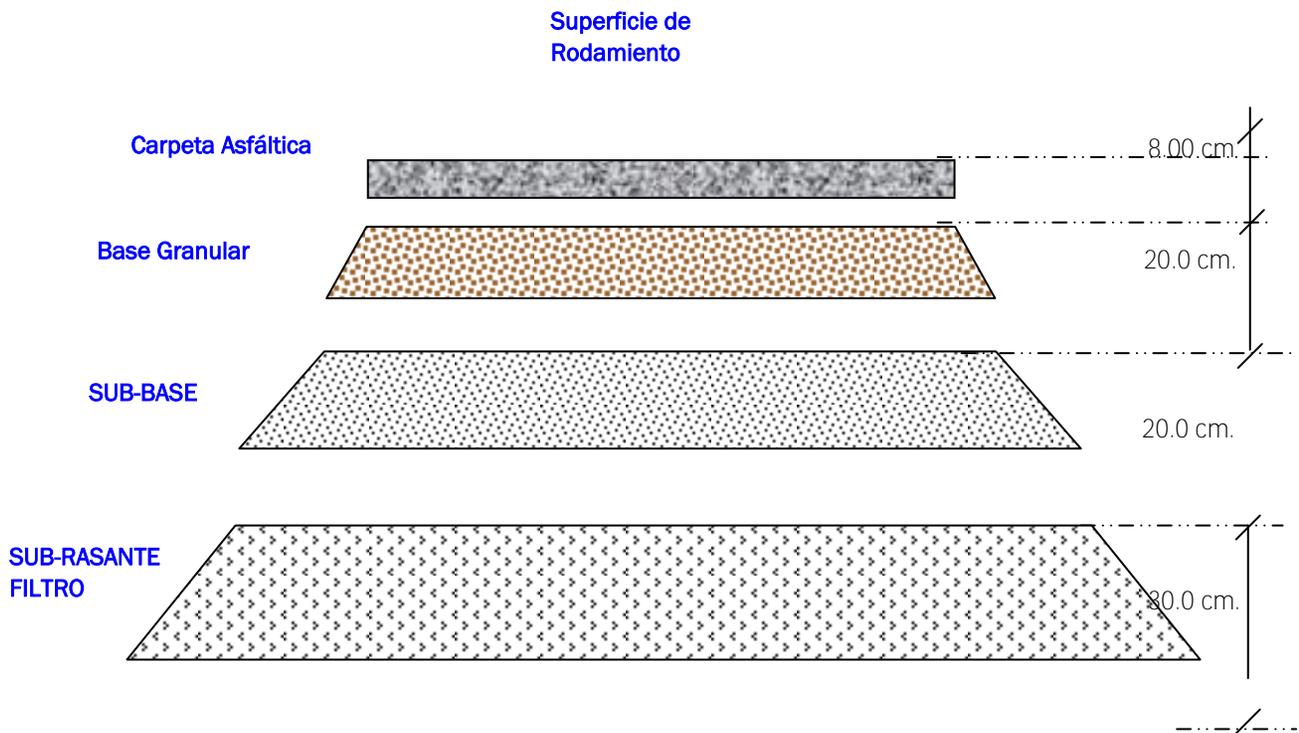
FINALMENTE SE PUEDE CONCLUIR QUE:

	VIDA PREVISIBLE	TRANSITO DE PROYECTO
DEFORMACION	18.80	7.70
FATIGA	5.20	5.00

LOS ESPESORES DETERMINADOS SE ENCUENTRAN EN CONDICIONES ACEPTABLES DE SOPORTAR LOS ESFUERZOS TRANSMITIDOS POR LO EJES DE LOS VEHICULOS POR FATIGA Y DEFORMACION, ES DECIR EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ES ADECUADA YA QUE LA TOLERANCIA ES DE \pm 10%, DEL TRANSITO DE PROYECTO. LO ANTERIOR SE PUEDE CORROBORAR EN LA TABLA ANTES VISTA.



FIGURA 1.
 DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
 OBRA: AMPLIACION AVENIDA
 UBICACIÓN: CD. HIDALGO, MICH



CAPITULO 6

ANALISIS DE RESULTADOS

EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN CAMINO PODEMOS DIFERENCIAR DOS PARTES MUY IMPORTANTES, ÉSTAS SON LA SUPERESTRUCTURA Y LA SUBESTRUCTURA. LA SUPERESTRUCTURA ESTA COMPUESTA POR UNA CAPA DE SUB-BASE, CAPA DE BASE Y LA CARPETA O SUPERFICIE DE RODAMIENTO. LA SUBESTRUCTURA SE COMPONE POR LAS TERRACERÍAS, SIENDO ESTAS EL CONJUNTO DE TERRAPLENES Y DE CORTES DE LA OBRA VIAL.

SABEMOS QUE EL PAVIMENTO ES EL CONJUNTO DE CAPAS COMPRENDIDAS ENTRE LA SUBRASANTE Y LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO, CUYA FUNCIÓN PRINCIPAL ES SOPORTAR LAS CARGAS DINÁMICAS Y TRANSMITIR A LAS TERRACERÍAS LOS ESFUERZOS QUE SE PRODUCEN, DISTRIBUYÉNDOLOS DE TAL FORMA QUE NO ORIGINEN DEFORMACIONES PERJUDICIALES EN ELLAS.

CUANDO EL MATERIAL DE TERRACERÍA ES DE MUY MALA CALIDAD PUEDE HACERSE NECESARIO EL EMPLEO DE UNA VERDADERA CAPA SUBRASANTE DE MATERIAL DE MEJOR CALIDAD QUE SIRVA DE TRANSICIÓN ENTRE LA TERRACERÍA Y EL PAVIMENTO, CUANDO EL MATERIAL DE TERRACERÍA SEA DE MEJOR CALIDAD, LA CAPA SUBRASANTE ESTA FORMADA POR EL PROPIO MATERIAL DE TERRACERÍA CON TRATAMIENTO CONSTRUCTIVO ALGO MEJOR, SOBRE TODO EN COMPACTACIÓN.

LA FUNCIÓN DE LAS TERRACERÍAS ES LA DE DAR FORMA A LA OBRA CIVIL, RECIBIR LAS CARGAS DISIPADAS DE LOS VEHÍCULOS Y FORMAR UNA SUSTENTACIÓN ADECUADA PARA EL PAVIMENTO.

LA SUBRASANTE CONSTITUYE UNA TRANSICIÓN ENTRE EL PAVIMENTO Y LA TERRACERÍA. DEBE RECIBIR Y RESISTIR LAS CARGAS DE TRÁNSITO QUE LE SON TRANSMITIDAS POR EL PAVIMENTO, RECIBIR Y TRANSMITIR ADECUADAMENTE LAS



CARGAS DE TRÁNSITO AL CUERPO DE TERRAPLÉN, EVITAR QUE LAS IMPERFECCIONES DE LA CAMA DE LOS CORTES SE REFLEJEN EN LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO, ADEMÁS DE ECONOMIZAR ESPESORES DE PAVIMENTO.

LA SUB-BASE TIENE COMO FUNCIÓN ABSORBER DEFORMACIONES PERJUDICIALES DE LA SUBRASANTE, TAMBIÉN ACTÚA COMO DREN PARA DESALOJAR EL AGUA DEL PAVIMENTO Y PARA IMPEDIR LA ASCENSIÓN CAPILAR HACIA LA BASE, DEL AGUA PROCEDENTE DE LA TERRACERÍA, RECIBE Y RESISTE LAS CARGAS DE TRÁNSITO A TRAVÉS DE LA CAPA QUE CONSTITUYE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

LA BASE PROPORCIONA UN ELEMENTO RESISTENTE AL PAVIMENTO PARA TRANSMITIR A LA SUB-BASE Y A LA SUBRASANTE LOS ESFUERZOS DE MENOR INTENSIDAD.

LA CARPETA ASFÁLTICA IMPIDE EL PASO DEL AGUA AL INTERIOR DEL PAVIMENTO, Y PROPORCIONAR UNA SUPERFICIE DE RODAMIENTO ADECUADA.

LA CAPACIDAD DE CARGA DE LOS MATERIALES FRICCIÓNANTES ES BAJA EN LA SUPERFICIE POR FALTA DE CONFINAMIENTO, RAZÓN POR LA CUAL SE NECESITA QUE SOBRE ELLA EXISTA UNA CAPA DE MATERIA COHESIVA Y CON RESISTENCIA A LA TENSIÓN. LO ANTERIOR LO PROPORCIONA LA CARPETA ASFÁLTICA.

PARA PODER DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE EN LAS CAPAS DEL PAVIMENTO DEBEMOS SOMETERLOS A LAS PRUEBAS DE LABORATORIO QUE SON : PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO, GRANULOMETRÍA, DENSIDAD, ABSORCIÓN, VALOR CEMENTANTE, EQUIVALENTE DE ARENA, LÍMITES DE CONSISTENCIA, PRÓCTOR Y PORTER ESTÁNDAR, Y VALOR RELATIVO DE SOPORTE.



EN ESTE ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL CAMINO EN ESTUDIO SE VISITARON LOS DIFERENTES BANCOS DE MATERIAL, REALIZÁNDOSELES LOS ESTUDIOS CORRESPONDIENTES. TAMBIÉN SE REALIZARON SONDEOS A LA CAPA DE SUB-BASE Y BASE PARA DETERMINAR SU PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN.

EL PRESENTE ESTUDIO COMPRENDE EL ANÁLISIS DE TODOS LOS MATERIALES QUE SE UTILIZARON HASTA LA CAPA DE BASE, DEJANDO FUERA LO QUE SE REFIERE A LA CARPETA Y MATERIAL BITUMINOSO.

LAS NORMAS Y ESPECIFICACIONES QUE SERVIRÁN DE APOYO PARA COMPARAR LOS RESULTADOS ARROJADOS POR LAS PRUEBAS SON DE LA S.C.T. Y DE LA S.O.P., ADEMÁS DE LAS PROPIAS DEL PROYECTO. Y CON ESTA COMPARATIVA ENTRE RESULTADOS Y ESPECIFICACIONES PODREMOS OBSERVAR LA BUENA O MALA CALIDAD DE LA OBRA.

LA ESTRUCTURA DEL CAMINO ESTARA FORMADA POR LAS SIGUIENTES CAPAS:

CAPA DE SUB-RASANTE CON UN ESPESOR MINIMO DE 30.0 CMS.

ESTA CAPA DEBERA DE ESTAR FORMADA POR UNA MEZCLA DE LA SIGUIENTE PROPORCION:

- MATERIAL GRAVA ARENA LIMPIA

EL GRADO DE ACOMODO DE ESTA CAPA DEBE DE SER BIEN COMPACTO.

CAPA DE SUB-BASE CON UN ESPESOR MINIMO DE 20.0 CMS.

EL GRADO DE COMPACTACION QUE SE REQUIERE COMO MINIMO ES DEL 90% DE P. V. S. M. (PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO), CON UNA HUMEDAD CERCANA A LA OPTIMA.



CAPA DE BASE GRANULAR CON UN ESPESOR MINIMO DE 20.0 CMS.

EL GRADO DE COMPACTACION QUE SE REQUIERE COMO MINIMO ES DEL 100% DE P. V. S. M. (PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO), CON UNA HUMEDAD CERCANA A LA OPTIMA.

CARPETA ASFALTICA CON ESPESOR MINIMO DE 8.0 CMS.

ESTA CAPA DEBERA DE ESTAR FORMADA POR UNA MEZCLA HECHA EN FRIO EN EL LUGAR.

EL GRADO DE COMPACTACION QUE SE REQUIERE COMO MINIMO ES DEL 100% DE P. V. S. M. (PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO), CON UNA HUMEDAD CERCANA A LA OPTIMA



CAPITULO 7

NORMAS Y ESPECIFICACIONES

UNA VEZ QUE SE OBTUVIERON LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO Y EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, SE PROPONEN LAS SIGUIENTES RECOMENDACIONES:

EL MATERIAL QUE SE TIENE COMO TERRENO NATURAL DEBERA DE MEJORARSE EN CUANTO A SU CAPACIDAD ESTRUCTURAL POR CUALQUIER MÉTODO APLICABLE Y EXPUESTO DE LA SIGUIENTE MANERA:

- COMPACTARSE AL 90 % MINIMO DE SU PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO.
- ESTABILIZARSE CON MATERIAL INERTE TIPO FILTRO CON PARTICULÑAS MINERALES DE DIAMETRO ENTRE 1" Y 3".

UNA VEZ ESTABILIZADO EL TERRENO NATURAL, SE REQUIERE DE COLOCAR UNA CAPA DE MATERIAL INERTE CON DIAMETRO DE PARTÍCULAS ENTRE ¼" Y 1-1/2" EN UN ESPESOR DE 30.0 CM.

SUBSECUENTE A ESTA CAPA DEBERA DE CONSTRUIRSE UNA CAPA CON MATERIAL TIPO DE SUB-BASE EN UN ESPESOR MINIMO COMPACTO DE 20.0 CM.

SUPRAYACIENDO A ESTA CAPA DEBERA DE CONSTRUIRSE UNA CAPA CON MATERIAL DE CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS DE CALIDAD TIPO BASE GRANULAR EN UN ESPESOR MINIMO COMPACTO DE 20.0 CMS.

FINALMENTE A ESTA CAPA DEBERA DE CONSTRUIRSE UNA SUPERFICIE DE RODAMIENTO CON MATERIAL TIPO DE MEZCLA ASFALTICA HECHA EN FRIO EN LUGAR EN UN ESPESOR MINIMO COMPACTO DE 8.0 CM.

POR LAS CONDICIONES SUPERFICIALES QUER PRESENTA EL CAMINO EXISTENTE SE RECOMIENDA REALIZAR UN ESTUDIO DE FATIGA Y DEFORMACION DE PAVIMENTO MEDIANTE EL USO DE VIGA BENKELMAN,



PARA ESTAR EN POSIBILIDADES DE ESCARIFICAR Y RENIVELAR LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO CON MATERIAL BITUMONOSO DE ACUERDO A LO DISEÑADO Y DETERMINADO CON LA VIGA BENKELMAN.

EL GRADO DE COMPACTACION QUE SE REQUIERE COMO MINIMO PARA CADA CAPA ES:

- CAPA DE SUB-BASE DEL 95%,
- CAPA DE BASE GRANULAR DEL 100%
- CARPETA ASFALTICA DEL 100%

TODOS LOS GRADOS DE COMPACTACION SON MINIMOS DEL P. V. S. M. (PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO), CON UNA HUMEDAD CERCANA A LA ÓPTIMA.

LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DEBERA DE CUMPLIR CON LOS SIGUIENTES PARÁMETROS DE CALIDAD SIGUIENTES PARA CADA CAPA ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.

CAPA DE SUB-BASE:

CARACTERÍSTICA	ZONA EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO A SU GRANULOMETRÍA.		
	1	2	3
CONTRACCIÓN LINEAL	6.0 max.	4.5 max.	3.0 mín.
VALOR CEMENTANTE PARA MATERIALES ANGULOSOS EN kg/cm ²	3.5 mín.	3.0 mín.	2.5 mín.
VALOR CEMENTANTE PARA MATERIALES REDONDOS EN kg/cm ²	5.5 mín.	4.5 mín.	3.5 mín.
VRS ESTÁNDAR SATURADO		50 mín.	
EQUIVALENTE DE ARENA.		20 mín.	



EL MATERIAL DEBERÁ COMPACTARSE AL 95% MÍNIMO DE SU PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO SALVO QUE EL PROYECTO FIJE UN GRADO DIFERENTE DE COMPACTACIÓN.

CARACTERÍSTICA	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO A SU GRANULOMETRÍA.		
	1	2	3
L. L. %	30 Máx.	30 Máx.	30 Máx.
C. L. %	4.5 Máx.	3.5 Máx.	2.0 Máx.
V. C. PARA MATERIALES ANGULOSOS kg/cm ²	3.5 Mín.	3.0 Mín.	2.5 Mín.
VRS% MÍN.	80 – 100		
EQUIVALENTE DE ARENA MÍN. %	30 – 50		
ÍNDICE DE DURABILIDAD ID % MÍN.	30 – 40		
COMPACTACIÓN % MIN	95		

CAPA DE BASE:

LAS CAPAS DE SUB-BASE Y BASE ESTÁN PRINCIPALMENTE RELACIONADAS CON LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES DE SUPERFICIE ASFÁLTICA, ADOQUINADA O EMPEDRADA. CONSTITUYEN UN ELEMENTO ESTRUCTURAL MUY IMPORTANTE. LA BASE ES EL CORAZÓN DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

EN PAVIMENTOS FLEXIBLES, LAS CAPAS DE BASE Y SUB-BASE TIENEN LA PRINCIPAL FUNCIÓN DE SOPORTAR LAS CARGAS DEL PAVIMENTO. LA BASE DEBE DE TENER LA SUFICIENTE RESISTENCIA PARA RECIBIR LA CARGA Y TRANSMITIRLA A UN NIVEL DE ESFUERZO ADECUADO A LA SIGUIENTE CAPA, QUE PUEDE SER UNA SUB-BASE O UNA SUBRASANTE, DE TAL MANERA QUE NO LES PRODUZCA DEFORMACIONES PERJUDICIALES.



MATERIALES A UTILIZARSE EN LA BASE.

ACTUALMENTE PODEMOS CONSIDERAR DOS CLASES DE BASES:

- A). BASE GRANULAR: DE GRAVA TRITURADA Y MEZCLA NATURAL DE AGREGADO Y SUELO.
- B). BASE ESTABILIZADA: SUELOS CON CEMENTO PÓRTLAND, CAL O ASFALTO.

EN LAS BASES GRANULARES LA ESTABILIDAD DEL MATERIAL DEPENDE DE LA FRICCIÓN INTERNA Y DE SU COHESIÓN.

UNA ALTA FRICCIÓN INTERNA SE CONSIGUE CON AGREGADOS BIEN GRADUADOS DE FORMA IRREGULAR Y CON UNA PEQUEÑA CANTIDAD DE FINOS LIMOS – ARENOSOS.

LOS REQUISITOS DE CALIDAD PARA LAS BASES GRANULARES: EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

DE ACUERDO A LA INTENSIDAD O PESO TOTAL DE CAMIONES SE DEBE TENER:

a).-CAMINOS:

INTENSIDAD DEL TRÁNSITO EN AMBOS SENTIDOS.	VRS %	E A %	I D %
HASTA 1000 VEHÍCULOS PESADOS AL DÍA	80 Mín.	30 Mín.	35 Mín.
MAS DE 1000 VEHÍCULOS PESADOS AL DÍA	100 Mín.	50 Mín.	40 Mín.



○ CARPETA ASFALTICA:

EL DISEÑO DE LA MEZCLA ASFALTICA SE REALIZARA DE ACUERDO A LO INDICADO EN LAS NORMAS SCT Y METODO MARSHALL, Y DEBERA DE RESPETARSE LO SEÑALADO A CONTINUACION DESDE EL DISEÑO DE DICHA MEZCLA ASFALTICA:

PARA LA MEZCLA ASFALTICA: NORMA SCT-N-CMT-4-05-003/02

ESTABILIDAD: 800 KG. MINIMO

FLUJO: 2.0 – 3.5 MM.

% DE VACIOS: 3.0 – 5.0 %

% DE V. A. M.: 14.0 % MINIMO

% DE V. A. F.: 65.0 – 75.0 %

PARA EL MATERIAL PETREO: NORMA SCT-N-CMT-4-04-/01

TAMAÑO MAXIMO $\frac{3}{4}$ "

EQUIVALENTE DE ARENA: 50% MINIMO

DESGASTE DE LOS ANGELES: 30.0% MAXIMO

DENSIDAD: 2.40 MINIMO

PARTÍCULAS ALARGADAS: 35% MAXIMO

PARTÍCULAS LAJEADAS: 35% MAXIMO

GRANULOMETRIA: DENSA PARA MAS DE UN MILLON DE EJES EQUIVALENTES

EL TIPO DE CEMENTO ASFALTICO QUE DEBERA DE APLICARSE CORRESPONDE A UN TIPO AC-20, SEGÚN LO SEÑALADO EN LAS FIGURA Y TABLA SIGUIENTE:



NORMAS

N-CMT-4-05-001/00

TABLA 2.- Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa·s (P ^[1])	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10 (500 ± 100)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20 (1 000 ± 200)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1.
AC-20	200 ± 40 (2 000 ± 400)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1.
AC-30	300 ± 60 (3 000 ± 600)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zonas 3 y 4 en la Figura 1. • En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

[1] Poises



CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-001/00

- Superestables, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Según su contenido de cemento asfáltico en masa, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se indica en la Tabla 3 de esta Norma.



FIGURA 1.- Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C. (Ver Tabla 2)



DISEÑO DE LA MEZCLA ASFALTICA

PARA EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO SE CONSIDERAN TRES ELEMENTOS PRINCIPALES:

TIPO DE AGREGADO

TIPO DE LIGANTE

MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN

TIPO DE AGREGADO.

EL AGREGADO PÉTREO CONTRIBUYE A LA ESTABILIDAD MECÁNICA, SOPORTA EL PESO DEL TRÁFICO Y AL MISMO TIEMPO TRANSMITE LAS CARGAS AL TERRENO.

LOS ÁRIDOS DEBERÁN CLASIFICARSE Y ACOPIARSE SEPARADAMENTE EN TRES FRACCIONES COMO MÍNIMO: GRUESA, FINA Y POLVO MINERAL (FILLER), LAS QUE DEBERÁN CUMPLIR CIERTOS REQUISITOS DISPUESTOS EN EL PROYECTO.

TIPO DE LIGANTE.

EL TIPO Y GRADO DE ASFALTO A EMPLEAR EN UNA DETERMINADA OBRA DEPENDERÁ DEL OBJETO DE LA OBRA, DEL TIPO DE PAVIMENTO A CONFECCIONAR, DEL CLIMA IMPERANTE, DE LOS AGREGADOS DISPONIBLES EN LA ZONA Y DE LA INTENSIDAD DEL TRÁFICO. SE RECOMIENDA EN UNA PROPORCIÓN DE 140 A 145 LTS. POR M³ DE MATERIAL PÉTREO.

CAPAS ESTRUCTURALES

LAS CAPAS ESTRUCTURALES SON AQUELLAS CARPETAS ASFÁLTICAS QUE, POR CONDICIONES DE MEZCLA Y ESPESOR, FORMAN UNA ESTRUCTURA RESISTENTE, COMPUTABLE EN EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

SEGÚN EL MÉTODO CONSTRUCTIVO SE DIVIDEN EN DOS GRUPOS:



- MEZCLAS EN PLANTA.
- MEZCLAS EN SITIO.

POR LAS CONDICIONES DEL DISEÑO SE RECOMIENDA EMPLEAR: MEZCLA EN SITIO

MEZCLA EN SITIO.

SE UTILIZAN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS CON MATERIALES PÉTREOS RELATIVAMENTE FINOS; EN TODOS LOS CASOS DE UTILIZACIÓN DE EMULSIONES Y UNA VEZ DEFINIDOS LOS PÉTREOS A UTILIZAR, SE HACE NECESARIO REALIZAR ESTUDIOS DE LABORATORIO A FIN DE DETERMINAR LA CLASE, TIPO Y CANTIDAD DE EMULSIÓN A USAR, PUDIENDO EN EL CASO DE LAS EMULSIONES, ADAPTAR ÉSTA A LOS PROCEDIMIENTOS Y MATERIALES EXISTENTES.

UNA MEZCLA EN SITIO ES UNA CARPETA ASFÁLTICA QUE SE CONFECCIONA MEZCLANDO ÁRIDO CON ASFALTO LÍQUIDO EN LA MISMA FAJA DEL CAMINO, MEDIANTE MOTONIVELADORA O ALGUNA MAQUINARIA ESPECIAL QUE EFECTÚE EL TRABAJO.

LOS ASFALTOS LÍQUIDOS MÁS ADECUADOS PARA ESTAS MEZCLAS SON:

EMULSIÓN CATIONICA RÁPIDA CLIMA CÁLIDO Y MEDIANAMENTE HÚMEDO.

EMULSIÓN CATIONICA MEDIA CLIMA TEMPLADO Y MEDIANAMENTE HÚMEDO.

EMULSIÓN CATIONICA LENTA CLIMA FRÍO, TEMPLADO Y HÚMEDO.

SE RECOMIENDA USAR PARA LA ELABORACIÓN DE LA MEZCLA: EMULSIÓN CATIONICA MEDIA CLIMA TEMPLADO Y MEDIANAMENTE HÚMEDO.



MÉTODO CONSTRUCTIVO PARA MEZCLAS EN FRÍO.

PREPARACIÓN DE LA MEZCLA.

TRANSPORTE Y COLOCACIÓN.

LAS MEZCLAS DEBERÁN TRANSPORTARSE A LOS LUGARES DE COLOCACIÓN EN CAMIONES TOLVA CONVENIENTEMENTE PREPARADOS PARA ESTE OBJETO Y ESPARCIRSE MEDIANTE UNA TERMINADORA AUTOPROPULSADA.

PARA LA DISTRIBUCIÓN DE LA MEZCLA USUALMENTE SE EMPLEA UNA TERMINADORA.

SE RECOMIENDA UNA TERMINADORA PARA EXTENDER CAPAS DE NIVELACIÓN DE MEZCLAS EN CALIENTE O EN FRÍO Y EVENTUALMENTE UNA MOTONIVELADORA. LAS MEZCLAS EN FRÍO DEBEN EXTENDERSE Y COMPACTARSE EN VARIAS CAPAS.

LAS MEZCLAS DEBERÁN EXTENDERSE SOBRE SUPERFICIES SECAS Y PREVIAMENTE IMPRIMADAS. SÓLO DEBERÁN COLOCARSE Y COMPACTARSE MEZCLAS CUANDO LA TEMPERATURA AMBIENTAL SEA DE POR LO MENOS 10°C, SIN BRUMA NI LLUVIA.

COMPACTACIÓN

ANTES DE INICIAR LA COMPACTACIÓN LA MEZCLA DEBERÁ ESPARCIRSE, ENRASARSE Y PERFILARSE. DEBERÁ ALCANZAR EL NIVEL DE DENSIFICACIÓN REQUERIDO Y UNA TEXTURA UNIFORME. PARA LOGRAR ESTOS EFECTOS SE PODRÁ INICIAR LA COMPACTACIÓN UTILIZANDO UN COMPACTADOR DE RUEDAS DE ACERO TIPO TÁNDEM, PARA LUEGO CONTINUAR CON RODILLOS VIBRATORIOS Y/O NEUMÁTICOS.

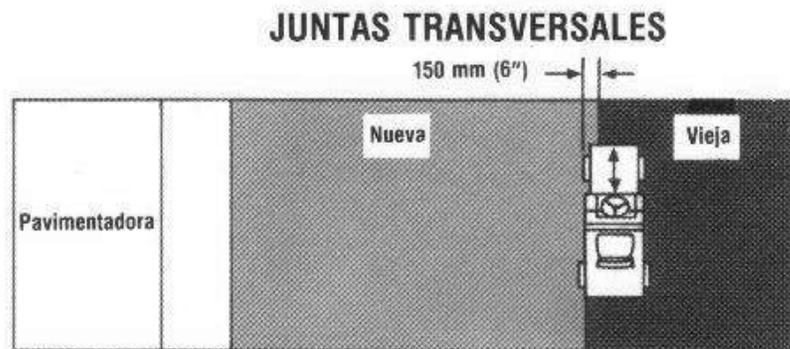


LA COMPACTACIÓN SUELE INICIARSE UTILIZANDO RODILLO TÁNDEM DE DOS RUEDAS DE ACERO, SOBRE LAS ORILLAS EXTERIORES DE LA CAPA RECIÉN TENDIDA PARA IR LUEGO APISONANDO HACIA EL CENTRO DEL CAMINO.

DURANTE LA COMPACTACIÓN LAS RUEDAS DE LAS APISONADORAS DEBERÁN MANTENERSE HÚMEDAS PARA EVITAR QUE SE ADHIERAN AL MATERIAL. TRAS DE HABERSE HECHO LAS CORRECCIONES QUE FUESEN NECESARIAS DESPUÉS DEL APISONADO INICIAL, SE PROCEDE A DAR PASADAS CON EL RODILLO NEUMÁTICO.

COMPACTACION DE LAS JUNTAS:

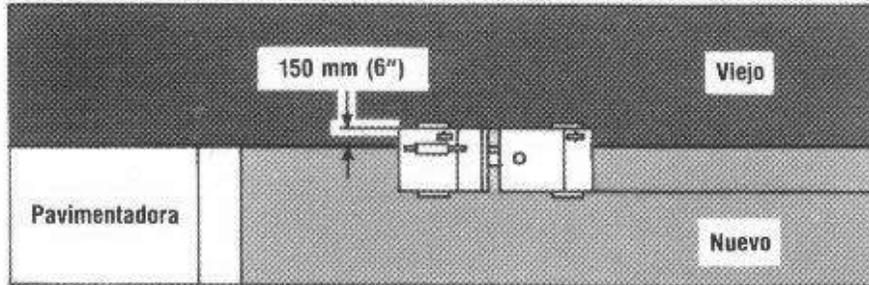
JUNTAS TRANSVERSALES: LAS JUNTAS DEBEN COMPROBARSE CON REGLA PARA ASEGURAR SU REGULARIDAD Y ALINEACIÓN. EN LA JUNTA DEBE EMPLEARSE UN EXCESO DE MATERIAL, COMPACTANDOLA, DESCANSANDO SOBRE LA SUPERFICIE PREVIAMENTE TERMINADA Y APOYANDO UNOS 15 CM DE UNA RUEDA SOBRE LA MEZCLA RECIÉN EXTENDIDA.



JUNTAS LONGITUDINALES: LAS JUNTAS LONGITUDINALES DEBEN COMPACTARSE INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA EXTENSIÓN DEL MATERIAL. LA PRIMERA FRANJA EXTENDIDA DEBE TENER EL PERFIL LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL NECESARIOS Y TENER SU BORDE CORTADO VERTICALMENTE.



JUNTAS LONGITUDINALES



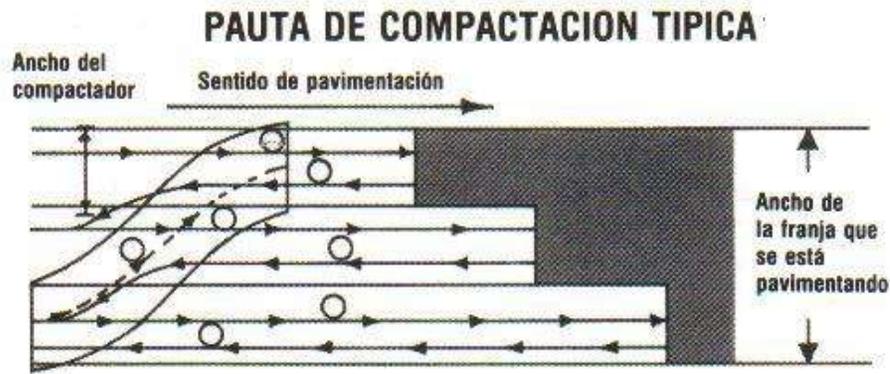
COMPACTACIÓN INICIAL: LA COMPACTACIÓN INICIAL DEBE SEGUIR INMEDIATAMENTE AL DE LAS JUNTAS LONGITUDINALES Y BORDES. LOS RODILLOS DEBEN TRABAJAR LO MÁS CERCA DE LA TERMINADORA PARA OBTENER LA DENSIDAD ADECUADA SIN CAUSAR UN DESPLAZAMIENTO INDEBIDO.

SEGUNDA COMPACTACIÓN: PARA LA SEGUNDA COMPACTACIÓN SE CONSIDERA PREFERIBLE LOS RODILLOS NEUMÁTICOS, QUE DEBEN SEGUIR A LA COMPACTACIÓN INICIAL TAN DE CERCA COMO SEA POSIBLE Y MIENTRAS LA MEZCLA ESTÁ AÚN A UNA TEMPERATURA QUE PERMITA ALCANZAR LA MÁXIMA DENSIDAD.

COMPACTACIÓN FINAL: LA COMPACTACIÓN FINAL DEBE REALIZARSE CON RODILLOS TANDEM DE DOS RUEDAS O TRES, MIENTRAS QUE EL MATERIAL ES AÚN SUFICIENTEMENTE TRABAJABLE PARA PERMITIR SUPRIMIR LAS HUELLAS DE LOS RODILLOS.

LA CANTIDAD, PESO Y TIPO DE RODILLOS QUE SE EMPLEEN DEBERÁN SER EL ADECUADO PARA ALCANZAR LA COMPACTACIÓN REQUERIDA DENTRO DEL LAPSO DE TIEMPO DURANTE EL CUAL LA MEZCLA ES TRABAJABLE.





CONTROL DE CALIDAD.

ANTES DE PROCEDER A LA COLOCACIÓN DE LA MEZCLA, SE DEBERÁ VERIFICAR QUE EL CLIMA SE AJUSTE A LO SEÑALADO ANTERIORMENTE, Y QUE LA SUPERFICIE ESTÉ LIMPIA, SECA Y LIBRE DE MATERIALES EXTRAÑOS.

LA DENSIDAD PROMEDIO DE LA MEZCLA COMPACTADA NO DEBERÁ SER INFERIOR AL 96% DE LA DENSIDAD OBTENIDA EN EL DISEÑO.

ASÍ COMO OCURRE CON LA APLICACIÓN DE MEZCLAS EN CALIENTE, EN LAS APLICACIONES EN FRÍO ES NECESARIO LLEVAR UN CONTROL ESTRICTO EN LO REFERIDO A:

- DENSIDAD
- ESPESORES
- CONTENIDO DE ASFALTO
- LISURA
- RUGOSIDAD

CALIDAD DE MATERIALES:

PARA LAS EMULSIONES ASFALTICAS DEBERA DE APLICARSE LO SEÑALADO EN LAS NORMA SCT-N-CMT-4-05-001/00 Y LAS QUE CORRESPONDAN A INDICADO EN LAS MISMAS Y PARA LAS DE MUESTREO Y ENSAYES DE LABORATORIO.



EMULSIÓN ASFÁLTICA DE ROMPIMIENTO RÁPIDO RR-2K

ESPECIFICACIONES

GENÉRICO	ECR-65/ RR-2K
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 50°, SEGUNDOS, MINIMO	40 SEG.
RESIDUO POR DESTILACIÓN EN % MÍNIMO	65% MINIMO
ASENTAMIENTO EN 5 DÍAS, DIFERENCIA EN % MÁXIMO	5%
RETENIDO MALLA N° 20, %, MAXIMO	0.10
INDICE DE RUPTURA, %	< 100
CARGA PARTÍCULA	POSITIVA
PH MÁXIMO	4.0

PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACIÓN

PENETRACIÓN A 25 °C	110° - 250°
DUCTILIDAD A 25 °C, CM. , MINIMO	40.0

EMULSIÓN ASFÁLTICA DE ROMPIMIENTO MEDIO RM-2K

ESPECIFICACIONES

GENÉRICO	ECM-65 RM-2K
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 50° SEGUNDOS, MINIMO	25
RESIDUO POR DESTILACIÓN EN % MÍNIMO	65%
ASENTAMIENTO EN 5 DÍAS, DIFERENCIA EN % MÁXIMO	5%
RETENIDO MALLA N° 20, %, MAXIMO	0.10
INDICE DE RUPTURA, %	< 100
CARGA PARTÍCULA	POSITIVA
PH MÁXIMO	4.0



PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACIÓN

PENETRACIÓN A 25 °C	100° - 250°
DUCTILIDAD A 25°C, CM. , MINIMO	40.0

APLICACIONES

- RECICLADOS DE CARPETAS-BASE (RECYCLING)
- ESTABILIZACIÓN DE BASES HIDRÁULICAS
- BASE NEGRA
- MEZCLAS FRÍA IN SITU
- MEZCLA FRÍA EN PLANTA

EMULSIÓN ASFÁLTICA DE ROMPIMIENTO LENTO RL-3K

ESPECIFICACIONES

GENÉRICO	ECL-65 RL-3K
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 25°C SEGUNDOS	25
RESIDUO POR DESTILACIÓN EN % MÍNIMO	65%
ASENTAMIENTO EN 5 DÍAS, DIFERENCIA EN % MÁXIMO	5%
CARGA PARTÍCULA	POSITIVA
PH MÁXIMO	3.0

PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACIÓN

PENETRACIÓN A 25 °C	100 - 250
DUCTILIDAD A 25°C, CM. , MINIMO	40.0



CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

PARA CERRAR LA TEXTURA DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO SE RECOMIENDA REALIZAR LA COLOCACION DE UN RIEGO DE SELLO, APLICANDOSE DE LA SIGUIENTE MANERA:

ESTE PROCEDIMIENTO CONSISTE EN LA APLICACIÓN DE UNA CIERTA CANTIDAD DE LIGANTE ASFÁLTICO, CUBIERTO POR UNA CAPA DE MATERIAL PÉTREO, CON LA FUNCIÓN DE IMPERMEABILIZAR LA CARPETA, PROTEGERLA DEL DESGASTE Y PROPORCIONAR UNA CAPA ANTIDESLIZANTE. LOS MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS (TRATAMIENTOS SUPERFICIALES) Y PARA RIEGOS DE SELLO, DEBERÁN SATISFACER LOS SIGUIENTES REQUISITOS:

LA GRANULOMETRÍA SE DETERMINARA POR LOS MÉTODOS ESTABLECIDOS.

LA PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES DEBE SER MENOR AL 30%.

LA PRUEBA DE INTEMPERISMO ACELERADO DEBERÁ TENER UN VALOR MENOR AL 12%.

LAS PARTÍCULAS EN FORMA DE LAJA O ALARGADAS DEBEN SER MENOR DEL 35%.

LOS MATERIALES PÉTREOS QUE SE EMPLEEN EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS RIEGOS DE SELLOS, SERÁN CLASIFICADOS CON LOS NOMBRES DE 3A O 3E, SEGÚN LA TABLA PREESTABLECIDA. POR OTRO LADO, LOS LIGANTES ASFÁLTICOS QUE SE EMPLEEN LA CONSTRUCCIÓN DE RIEGOS DE SELLO SERÁN DE CEMENTO ASFÁLTICO Y EMULSIONES ASFÁLTICAS DE ROMPIMIENTO RÁPIDO SIN SOLVENTES.



LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS ES COMO SIGUE:

ANTES DE APLICAR EL RIEGO DE SELLO, LA SUPERFICIE POR TRATAR DEBERÁ DE SER BARRIDA, QUEDANDO LIBRE DE MATERIAS EXTRAÑAS Y POLVO ADEMÁS DE ESTAR SECA.

EN TODOS LOS CASOS SE DEBERÁN DE CONSIDERAR LAS CONDICIONES REALES DE LA CARPETA POR TRATAR, Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO QUE SE EMPLEARA EN EL RIEGO. SE DEBEN DE HACER LAS PRUEBAS SOBRE LA CARPETA PARA DETERMINAR LAS CANTIDADES TANTO DE LIGANTES COMO DE MATERIAL PÉTREO POR UTILIZARSE, Y ESTAS CANTIDADES DEBEN DE ESTAR COMPRENDIDAS ENTRE LOS PARÁMETROS DE LA TABLA.

MATERIALES	AGREGADOS 3A	AGREGADOS 3E
LIGANTE ASFÁLTICO LT/M2	0.70 A 1.0	0.8 A 1.0
AGREGADO PÉTREO LT/M2	8 A 10	9 A 11

PARA LA EJECUCIÓN DEL RIEGO DE SELLO, SE PROCEDERÁ SEGÚN LAS ETAPAS SIGUIENTES:

BARRIDO DE LA SUPERFICIE.

SE PROCEDERÁ AL RIEGO DEL LIGANTE ASFÁLTICO, DE ACUERDO AL TIPO Y LAS CANTIDADES FIJADAS EN EL PROYECTO.

SE CUBRE EL RIEGO ASFÁLTICO CON LA CAPA DE MATERIAL PÉTREO QUE EL PROYECTO ESTABLEZCA Y EN LA CANTIDAD PREVIAMENTE CALCULADA.

SE HACE EL COMPACTADO CON PLANCHA RÍGIDA O NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO A BAJA VELOCIDAD.

SE BARRE Y SE RECOLECTA EL MATERIAL PÉTREO EXCEDENTE QUE NO ESTÉ ADHERIDO AL LIGANTE ASFÁLTICO.



COMO SE INDICA EN EL MÉTODO PROPUESTO POR LA NORMAS SCT, CUANDO LOS MATERIALES PÉTREOS HAN SIDO TENDIDOS Y RASTREADOS, SI SE REQUIERE SE PLANCHAN INMEDIATAMENTE CON UN RODILLO LIGERO ÚNICAMENTE PARA ACOMODAR LAS PARTÍCULAS, PERO HAY QUE PONER ESPECIAL CUIDADO EN NO FRACTURAR POR EXCESO DE PESADAS.

A CONTINUACIÓN SE HACE OTRO PLANCHADO EMPLEANDO UN COMPACTADOR NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO CON PESO DE 4.5 A 7.3 TONELADAS. EL COMPACTADOR DEBERÁ PASARSE DURANTE EL TIEMPO NECESARIO, PARA ASEGURAR QUE SE ADHIERA EL MATERIAL LO MÁXIMO POSIBLE. EN EL CASO QUE SE AUTORICE LA APERTURA EL TRANSITO SE RECOMIENDA QUE SEA CONTROLADO LA VELOCIDAD DE LOS VEHÍCULOS PARA EVITAR EL DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL.

LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DEBERA DE RESPETARSE LO INDICADO EN LAS NORMAS SCT, QUE ENSEGUIDA SE MENCIONAN:

REQUISITOS DE GRANULOMETRIA PARA MATERIAL PETERO N-CMT-4-04/01

MALLA		NORMA 3-A
ABERTURA (mm)	DESIGNACION	
12.5	½ "	100 %
9.5	3/8"	95.0 MINIMO
2.36	Nº 8	5.0 %
0.425	Nº 40	MAXIMO 0.0%



REQUISITOS DE CALIDAD PARA MATERIAL PETERO N-CMT-4-04/01

PRUEBA	VALOR NORMA
DESGASTE DE LOS ANGELES, % MAX.	30.0
PARTÍCULAS ALARGADAS, % MAX.	35.0
PARTÍCULAS LAJEADAS, % MAX.	35.0
INTEMPERISMO ACELERADO, % MAX.	12.0
DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN, % MAX.	25.0

FINALMENTE RECOMENDAMOS REALIZAR EL CONTROL DE CALIDAD NECESARIO PARA VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO CABAL DE LAS NORMAS Y EPSECIFICACIONES ANTES SEÑALADAS.



CONCLUSIONES:

ES INCUESTIONABLE QUE EXISTEN FACTORES AJENOS, QUE IMPIDEN LOGRAR PROYECTOS EJECUTIVOS ADECUADOS Y OPORTUNOS, QUE MUCHAS DE LAS VECES SE CONVIERTEN EN OBSTÁCULOS INFRANQUEABLES PARA EL PROYECTISTA, MENCIONAREMOS AQUÍ DOS DE LOS PRINCIPALES Y ENUNCIAREMOS ADEMÁS LOS ERRORES, OMISIONES Y FALTAS QUE CON MÁS FRECUENCIA SE COMETEN EN LA ELABORACIÓN DE LOS PROYECTOS Y QUE DAN COMO RESULTADO UNA OBRA DE CARACTERÍSTICAS DEFICIENTES, ESTOS LOS CLASIFICAMOS COMO FACTORES INTERNOS.

EL DESARROLLO DEL PROYECTO CARRETERO INCIDE DE MANERA FAVORABLE PARA PROMOVER LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO QUE NOS OCUPA, DENTRO DEL MARCO DE DESARROLLO DE VÍAS DE COMUNICACIÓN PROMOVIDO POR EL GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN.

EL ESTADO DE MICHOACÁN SE HA CONVERTIDO EN LOS ÚLTIMOS AÑOS EN UN POLO DE DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DEL SECTOR SECUNDARIO POR SU CERCANÍA CON LA CAPITAL DEL PAÍS. COMO PARTE DE LAS ACCIONES QUE SU GOBIERNO HA DESARROLLADO SE TIENE CONTEMPLADO REGULAR EL DESARROLLO DE LA ZONA CONURBANA DE LA CAPITAL DEL ESTADO, PROGRAMANDO, ENTRE OTRAS MEDIDAS, EL DESARROLLO DE SUS VIALIDADES.

LA INTEGRACIÓN DEL PROYECTO EN LAS POLÍTICAS DE DESARROLLO ESTATAL Y NACIONAL, DEBE SER CONGRUENTE CON LOS PLANTEAMIENTOS SEÑALADOS EN EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2002-2007, QUE EN MATERIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL, ESTABLECE LINEAMIENTOS REGULADORES PARA LAS OBRAS DE DESARROLLO.

DE ACUERDO CON EL ANÁLISIS PRESENTADO A LO LARGO DEL ESTUDIO, ES POSIBLE OBSERVAR QUE COMO PARTE DE LAS CARACTERÍSTICAS



CONSTRUCTIVAS DE LOS PROYECTOS CARRETEROS, INEVITABLEMENTE SE GENERAN IMPACTOS AMBIENTALES PERMANENTES E IRREVERSIBLES A LO LARGO DE SU RECORRIDO, COMO CONSECUENCIA DE LA MODIFICACIÓN DEL RELIEVE, EL CAMBIO DE USO DE SUELO, LA SUSTITUCIÓN DE VEGETACIÓN Y AFECTACIONES A LA FAUNA, ENTRE OTRAS. CABE MENCIONAR QUE LOS IMPACTOS AMBIENTALES QUE SE MENCIONAN EN ESTE ESTUDIO SERÁN DE UNA MÍNIMA IMPORTANCIA, DEBIDO A QUE LOS TRABAJOS SE REALIZARÁN SOBRE EL CUERPO ACTUAL, CONSISTIENDO EN, COMO SE HA MENCIONADO CON ANTERIORIDAD, EN LA PAVIMENTACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LAS OBRAS COMPLEMENTARIAS, DE LA CARRETERA MOTIVO DE ESTE ESTUDIO.

SIN EMBARGO, ESTAS MISMAS AFECTACIONES PUEDEN SER DISMINUIDAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN QUE PREVENGAN, CONTROLLEN O COMPENSEN SUS EFECTOS EN EL AMBIENTE, AL TIEMPO QUE SE FAVORECE UN DESARROLLO PRODUCTIVO QUE BENEFICIE A LA POBLACIÓN, Y SE LE BRINDEN MEJORES ALTERNATIVAS DE COMUNICACIÓN Y TRANSPORTE, GRACIAS A QUE LAS ACTUALES ESPECIFICACIONES DE LAS VÍAS DE COMUNICACIÓN OFRECEN MAYOR SEGURIDAD AL TIEMPO QUE SE DISMINUYEN LOS TIEMPOS DE RECORRIDO ENTRE DOS PUNTOS.

ESTAS VIALIDADES DARÁN CAPACIDAD DE TRÁNSITO EN BUENAS CONDICIONES A UNA POBLACIÓN QUE ESTÁ CRECIENDO A UNA VELOCIDAD MAYOR QUE EL DE LA TENDENCIA GENERAL NACIONAL POR EL ALTO RITMO DE DESARROLLO LOCAL.

DEBIDO A QUE LA ZONA CONSERVA ÁREAS CON VEGETACIÓN EN BUEN ESTADO DE CONSERVACIÓN, LOS EFECTOS EN EL AMBIENTE COMO YA SE HA DICHO, SERÁN MAYORES DURANTE SU CONSTRUCCIÓN, EFECTOS QUE TIENDEN A MINIMIZARSE CON LA APLICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN, LAS CUALES, SI SON BIEN IMPLEMENTADAS, MEJORARÁN EN ALGUNOS SITIOS LA CALIDAD ACTUAL DEL ENTORNO.



DURANTE LA ETAPA DE OPERACIÓN, LA CARRETERA POR SI MISMA NO GENERARÁ AFECTACIONES EN EL MEDIO; LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LOS VEHÍCULOS EN CIRCULACIÓN NO IMPACTARÁN DE MANERA SIGNIFICATIVA AL MEDIO YA QUE EL PATRÓN DE VIENTOS PUEDE DISPERSARLO, LO MISMO OCURRE CON LOS NIVELES DE RUIDO Y CON LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DURANTE ESTA ETAPA, LAS CUALES NO SE CONSIDERAN SIGNIFICATIVAS SI SE LLEVAN A CABO CONFORME A UN PROGRAMA PERIÓDICO.

COMO YA SE HA DICHO, LA OBRA ES DE BENEFICIO SOCIAL; SE PROMOVERÁN CAMPAÑAS DE CONCIENTIZACIÓN A LA POBLACIÓN EN GENERAL PARA QUE EVITEN REALIZAR ACTIVIDADES QUE AFECTEN NEGATIVAMENTE EL AMBIENTE, Y RESPETEN LAS CONDICIONES DE TRÁNSITO ESPECIFICADAS PARA EVITAR ACCIDENTES, PERO ES POCA LA INFLUENCIA DIRECTA DE ESTAS CAMPAÑAS EN EL MANTENIMIENTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES.

EN RELACIÓN CON EL PROGRAMA DE MONITOREO QUE SE REQUIERE, ES IMPORTANTE SEÑALAR QUE EN LA ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN PROPUESTA, CONTEMPLA UNA SUPERVISIÓN DE MANERA REGULAR, LA CUAL SERÁ REALIZADA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA Y HASTA EL PERÍODO DE LLUVIAS INMEDIATO A SU CONCLUSIÓN. CONTEMPLA 2 REVISIONES ANUALES DURANTE LOS TRES AÑOS SIGUIENTES A SU INICIO. LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO SERÁN PERMANENTES Y SU REALIZACIÓN DURANTE LA OPERACIÓN DE LA CARRETERA ESTARÁ A CARGO DEL CONCESIONARIO.

EN TAL VIRTUD, SE DEBE COMPRENDER QUE NO EXISTIRÁ UN PROGRAMA DE MONITOREO CONVENCIONAL (CON MUESTREOS REGULARES Y MEDICIONES PRECISAS), YA QUE SE CONSIDERA QUE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN ESTA ETAPA SON MÍNIMOS.



EN RESUMEN, EL PROYECTO CONTEMPLA SU CONSTRUCCIÓN SIGUIENDO LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS NORMAS DE SERVICIOS TÉCNICOS, PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, ASIMISMO, SE BUSCA INCREMENTAR LA SEGURIDAD DE LOS USUARIOS, DISMINUIR LOS TIEMPOS DE RECORRIDO Y EN CONSECUENCIA LOS COSTOS DE OPERACIÓN DEL MISMO, FACILITANDO DE ESTA MANERA EL DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS Y EL TRANSPORTE DE PRODUCTOS.

SU EJECUCIÓN MEJORARÁ DE MANERA SIGNIFICATIVA LAS CONDICIONES ACTUALES DE TRÁNSITO DE LA ZONA, Y DARÁ UNA VÍA DE COMUNICACIÓN CON MEJORES ESPECIFICACIONES DE SEGURIDAD PARA EL DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS Y MERCANCÍAS EN LA REGIÓN.

LA PUESTA EN MARCHA DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN, PERMITIRÁ REVERTIR LOS DAÑOS Y MINIMIZAR LOS IMPACTOS OCASIONADOS, EVITAR LA EROSIÓN DEL SUELO Y FAVORECER LA RESTITUCIÓN DE LA VEGETACIÓN INTEGRANDO LA CARRETERA AL PAISAJE.



BIBLIOGRAFIA

Estructuración de vías terrestres ----- Segunda edición

Fernando Olivera Bustamante

Especificaciones generales de construcción---- Tomo I

Secretaría de Comunicaciones y obras públicas

Mecánica de suelos ----- Tomo I

Fundamentos de la Mecánica de Suelos

Juárez Badillo... Rico Rodríguez

Apoyos didácticos para alumnos de Ingeniería Civil

División de ingenierías C. U. C. E. I. U. de G.

M. en I. Javier Saborío Ulloa

Mecánica de suelos en las vías terrestres----- Tomo I

Hermilo del Castillo... Rico Rodríguez

ASÍ MISMO SE CONTO CON LA UTILIZACION DEL PROGRAMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DISPAV – 5, PARA EL CALCULO DE LOS ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

